BIBLIOTECA SOCIETĂȚII DE ȘTIINȚE MATEMATICE DIN R.P.R.

EDM. NICOLAU

145

INTRODUCERE ÎN CIBERNETICA

EDITURA TEHNICĂ

Prof. univ. EDMOND NICOLAU

INTRODUCERE ÎN CIBERNETICĂ

145

EDITURA TEHNICĂ
București — 1964

Scanned with OKEN Scanner

Lucrarea prezintă principalele probleme ale ciberneticii la un nivel mediu, recurgînd la un aparat matematic redus, care în principal se bazează pe cunoştinţele predate în şcoala medie. Noţiunile suplimentare de matematică sînt expuse într-un mod accesibil, recurgîndu-se la exemple simple şi intuitive.

Cartea cuprinde: Introducere, elemente de teoria mulţimilor, algebră booleană, modele, calculatoare digitale, algoritmi şi programare, limbajul electronic, sisteme de comunicaţii, transmiterca informaţiei, neurocibernetica, teoria informaţiei, aplicaţii ale teoriei informaţiei, automate, cibernetica şi lingvistica, inteligenţa artificială, teoria jocurilor, gîndirea şi maşinile cibernetice.

Deşi problemele tratate sînt dificile, ele sînt expuse intuitiv şi uşor de înţeles, lucrarea putînd fi citită de un cerc larg de cititori.

Lucrarea se adresează cadrelor didactice din învăţămîntul mediu, elevilor din ultimele clase ale şcolilor medii, studenţilor din primii ani şi tuturor persoanelor avînd un nivel mediu de cunoştinţe.

Redactor responsabil: Ing. MARCOVICI AVRAM
Tehnoredactor: GERU ELENA

Dat la cules 11.03. 1964. Bun de tipar 26.05. 1964. Apăruut 1964. Tiraj 8500+140 Broşate. Hîrtie semivelină de 63 g/m², 610×860/16 Coli editoriale 10,53. Coli de tipar 10,50. A 1970 /1964 C.Z. pentru bibliotecile mari 621391 C.Z. pentru bibliotecile mici 621

Tiparul executat la Întreprinderea Poligrafică „Informaţia" Adresa: Brezoianu nr, 23—25, Bucureşti R.P.R.

Scanned with OKEN Scanner

PREFAȚA

Printre cele mai importante realizări ale științei contemporane se numără și cibernetica, știința care a dus la o creștere impetuoasă și originală a gîndirii umane. Prin cibernetică s-a reușit mărirea productivității muncii, s-au realizat automate capabile să preia o serie întreagă de munci grele și de rutină, s-a înțeles mai bine funcționarea sistemului nervos și, în special, a creierului — materia în cea mai înaltă formă de organizare.

Cibernetica a dezvăluit o serie întreagă de legi profunde ale naturii.

Cu ajutorul cibernetici încep să se șteargă treptat diferențele principale dintre munca fizică și cea intelectuală. Devine posibilă — în societatea socialistă — automatizarea totală a activității din industrie și transporturi, și chiar automatizarea a tot mai numeroase sectoare de activitate intelectuală.

Cele mai importante realizări ale științei contemporane, cum ar fi cucerirea spațiului cosmic, conducerea în condiții optime a proceselor industriale, automatizarea unor activități considerate înainte ca fiind proprii umane, se datoresc cibernetici.

Lucrarea de față își propune să introducă pe cititor în problemele de bază ale ciberneticii, punîndu-i la dispoziție totodată și instrumentul matematic necesar înțelegerii principalelor dispozitive cibernetice, precum și a unora dintre metodele acestei științe.

Pentru a ușura înțelegerea ciberneticii, cunoștințele matematice prealabile cerute cititorului sînt cît se poate de reduse, de fapt principalele noțiuni matematice utilizate fiind definite în primele capitole. Cititorul poate deci aborda lucrarea fără a întîmpina dificultăți din punctul de vedere al informării sale matematice prealabile. Este suficient ca el să aibă posibilitatea de a opera cu unele noțiuni abstracte, pentru ca să poată înțelege întreaga lucrare, în liniile sale principale.

Autorul își exprimă speranța că un număr mare dintre tinerii cititori ai acestei „introduceri" își vor desfășura în viitor activitatea în domeniul ciberneticii, contribuind astfel la desăvîrșirea construcției socialismului în scumpa noastră patrie.

AUTORUL

București, 15 noiembrie 1963

Scanned with OKEN Scanner

TABLA DE MATERII

	Pag.
Introducere	5
1. Elemente de teoria mulţimilor	10
2. Algebra booleană	24
3. Modele	32
4. Calculatoare digitale	46
5. Algoritmi şi programe	62
6. Limbajul electronic	67
7. Sisteme de comunicaţii	76
8. Transmiterea informaţiei	84
9. Neurocibernetica	94
10. Teoria informaţiei	103
11. Aplicaţii ale teoriei informaţiei	110
12. Automate	117
13. Cibernetica şi lingvistica	129
14. Inteligenţa artificială	144
15. Teoria jocurilor	153
16. Gîndirea şi maşinile cibernetice	161
Bibliografie	168

INTRODUCERE

1. În ultimii ani, datorită succeselor obținute atît în domeniul automatizării producției industriale, cît și al unor activități intelectuale pînă nu de mult rezervate în exclusivitate omului, cibernetica se impune cu drept cuvînt tot mai mult atenției unor cercuri largi. Interesul tot mai mare față de cibernetică corespunde faptului că dezvoltarea ciberneticii și electronicii marchează — împreună cu dezvoltarea fizicii atomice și a energeticii nucleare — începutul unei mari revoluții tehnice în sfera producției și deschide noi orizonturi pentru dezvoltarea gîndirii umane.

În momentul de față cibernetica se definește ca știința conducerii, prin conducere înțelegîndu-se organizarea unor acțiuni avînd un scop determinat.

Esențial nou în cibernetică este, în primul rînd, punerea în evidență a faptului că atît în tehnică, cît și în natură și în societate, există procese de conducere care se subsumează unor legi generale.

2. Importanța practică și teoretică a ciberneticii reiese cu ușurință dintr-un exemplu.

Dispunînd de calculatoare electronice rapide, capabile să efectueze pînă la 2 milioane de operații pe secundă, cibernetician are astăzi posibilitatea de a rezolva, într-un interval foarte scurt de timp, probleme care în altă epocă nu se puneau, deoarece rezolvarea lor ar fi durat foarte mult timp. De exemplu, pentru a conduce în condiții optime un tren, mecanicul trebuie să rezolve o ecuație de un tip special și anume o ecuație diferențială. Procedeele de rezolvare a unei astfel de ecuații se învață în primii ani în facultățile de matematică sau de fizică, precum și în institutele tehnice de învățămînt superior. Rezolvarea ei este o operație care durează timp mai îndelungat (10—20 min) chiar pentru un specialist antrenat. În cazul

Scanned with OKEN Scanner

conducerii trenului se pune problema rezolvării ei în cîteva secunde, deoarece după un timp scurt de mers, trenul a trecut, dintr-o porțiune în care coeficienții caracteristici ai căii au anumite valori, în alta în care acești coeficienți au cu totul alte valori (ne referim la înclinarea căii ferate, la viteza cu care suflă vîntul etc.). Lăsînd la o parte faptul că este greu a pregăti pe toți mecanicii de locomotivă la nivelul unor specialiști de înaltă calificare, nici nu este posibil ca problema optimizării conducerii trenurilor să fie încredințată oamenilor, datorită unei limitări naturale : ei nu pot rezolva problema mișcării trenului în timp util.

Aici însă omul este ajutat de mașină, care poate rezolva aceeași problemă într-o fracțiune de secundă.

La fel calculatoarele electronice se utilizează astăzi cu succes pentru dirijarea proceselor tehnologice din marile complexe chimice, pentru încărcarea optimă a centralelor electrice etc.

În toate aceste aplicații mașinile cibernetice se dovedesc a fi auxiliari de neînlocuit ai omului.

Pe plan teoretic, cibernetica permite o mai bună înțelegere a modului în care funcționează organismele vii, în particular sistemul nervos al animalelor și chiar creierul — materia în forma cea mai înaltă de organizare.

Dar procesul se desfășoară și invers, în sensul că o nouă știință, bionica tinde să aplice în tehnică, în realizarea dispozitivelor cibernetice, unele dintre principiile puse în evidență de biologi ca acționînd în organismele vii. În modul acesta s-au putut realiza calculatoare electronice cu funcționare superioară, precum și alte dispozitive cibernetice perfecționate.

3. Cibernetica, în accepția actuală, a apărut aproximativ în anul 1948, cînd matematicianul Norbert Wiener [1]) a publicat lucrarea sa „Cybernetics".

Ar fi însă greșit să credem că această știință nouă și deosebit de importantă pentru dezvoltarea viitoare a societății a apărut dintr-o dată prin această lucrare, fără o lungă pregătire istorică. Știința este un proces în care filiațiunea de idei joacă un rol deosebit de important, ea apare datorită numeroaselor contribuții aduse de mulți oameni de-a lungul mai multor generații; aceste acumulări cantitative permit, la un moment dat, efectuarea saltului calitativ, care se traduce prin formularea unor legi ale științei respective, legi necunoscute mai înainte.

---

[1]) Pe atunci profesor la Institutul Tehnologic din Massachusetts (M.I.T.)

Scanned with OKEN Scanner

Pentru apariția ciberneticii au fost esențiale descoperirile făcute în special în fiziologia sistemului nervos central, în matematică, electronică, automatică.

4. Termenul de cibernetică are o semnificație particulară care trebuie explicată.

Din discuțiile purtate în grupul din care făcea parte și Norbert Wiener, grup care era în legătură cu realizarea calculatoarelor electronice rapide, s-a ajuns la concluzia că există o unitate esențială între unele probleme privind comunicațiile, conducerea și mecanica statistică, și aceasta indiferent de faptul că aceste procese se desfășoară în organismele vii sau în mașini. Pentru a fixa numele noii științe, în conformitate cu o tradiție bine stabilită în știință, s-a căutat un termen care să aibă o rădăcină elină și s-a ales termenul elin kibernitis care în limba greacă are sensul de cîrmaci, pilot.

Acest cuvînt se întîlnește și în dialogurile lui Platon. În limba romînă el a dat naștere cuvîntului „a chivernisi".

5. Domeniul actual al ciberneticii este deosebit de întins, atît pe planul generalizărilor teoretice, cît și pe plan tehnic și biologic.

Datorită stabilirii unor legi precise, cibernetica reușește să explice funcționarea unor sisteme biologice complexe și, în același timp, indică modul în care se poate mări mult productivitatea muncii prin introducerea în instalațiile industriale a mașinilor cibernetice. Ca ori ce știință, cibernetica permite și o înțelegere mai profundă și mai adecvată a realității. De la început, cibernetica pleacă de la existența materiei și a fenomenelor ei, în afară și independent de conștiința noastră. În ceea ce privește studierea funcționării creierului, cibernetica arată că toate fenomenele care au loc în sistemul nervos central pot fi explicate prin procese materiale. Pentru cibernetică procesele psihice, conștiința, trebuie corelate cu procesele fiziologice din creier. În particular, procesele psihice umane trebuie puse în legătură cu procesele care au loc în scoarța cerebrală a omului, care este materia ajunsă la gradul cel mai complex de organizare. În același timp însă, cibernetica consideră că procesele psihice reprezintă un proces unic, a cărui stare internă este conștiința. Conștiința nu poate fi despărțită de materia care gîndește, ea fiind în același timp studiată prin mijloace obiective.

Desigur că în momentul de față se pune problema stabilirii raporturilor dintre mașinile cibernetice și intelectul uman. Este prematur ca de la începutul acestei cărți să dăm un răspuns definitiv. Se poate însă arăta că mașinile cibernetice

Scanned with OKEN Scanner

nu intră în concurență cu omul și rămîn mai departe un aliat al său. Evident, datorită ciberneticii, devine posibilă automatizarea unor munci dificile, care înainte nu puteau fi abordate decît de om.

6. În țara noastră, cibernetica a înregistrat an de an succese importante.

În domeniul teoretic, sînt de menționat în primul rînd importantele lucrări privind mecanismele automate cu funcționare discretă. În această direcție, țara noastră ocupă un loc de frunte în lume. Astfel, într-o statistică publicată de Academia de Științe a Uniunii Sovietice se arată că, în ceea ce privește studiul teoretic al schemelor cu contacte și relee, ne situăm pe plan mondial pe locul trei, după S.U.A. și U.R.S.S. De asemenea, într-o carte recentă privind logica matematică, lucrare scrisă de cunoscutul matematician american P. Halmos, un capitol special este rezervat cercetărilor efectuate în țara noastră.

În domeniul stabilității sistemelor automate neliniare, de asemenea s-au obținut succese deosebit de importante. Pe baza rezultatelor generale obținute de specialiștii noștri, în Uniunea Sovietică s-a publicat o întreagă carte (autori M. A. Aizerman și F. R. Gantmaher) în care se arată cum aceste rezultate generale se aplică în diferite cazuri particulare întîlnite în practică.

Referitor la transmiterea informației, rezultate importante s-au obținut în special în ceea ce privește proprietățile semnalelor modulate în frecvență; rezultate noi s-au obținut și în ceea ce privește baza matematică a teoriei informației, cît și referitor la teoria statistică a comunicațiilor.

Succese importante s-au obținut la noi în țară și în ceea ce privește traducerile mecanice, în aprilie 1962, la Timișoara, efectuîndu-se primele traduceri din engleză în română.

În ceea ce privește construcția calculatoarelor electronice la noi, trebuie arătat că încă din anul 1957 a intrat în funcțiune primul calculator electronic, proiectat și construit în țară. Ulterior s-au construit și alte calculatoare care au fost date în exploatare, contribuind la rezolvarea diferitelor probleme puse de știință și tehnică.

În legătură cu utilizarea calculatoarelor electronice, o importanță deosebită revine așa-numitei analize numerice. În această privință, cercetări importante se dezvoltă la Institutul de calcul din Cluj al Academiei R.P.R.

Ciberneticienii români au abordat însă și problema funcționării sistemului nervos, stabilind o schemă logică a neuronului. Tot ei au studiat sistemele formate din astfel de elemente,

Scanned with OKEN Scanner

şi au reuşit să arate unele dintre mecanismele necunoscute pînă atunci care acţionează în cadrul diferitelor organe de simţ şi în sistemul nervos central.

În ceea ce priveşte înţelegerea cibernetică a anumitor procese intelectuale, experienţe interesante s-au efectuat la Institutul politehnic Bucureşti, unde, în laboratoarele Facultăţii de electronică, s-au realizat dispozitive capabile să recunoască automat vocalele limbii romîne şi de asemenea să reproducă în mod sintetic unele dintre aceste vocale.

Dar, ca în oricare ştiinţă, şi în cibernetică se pun probleme generale ideologice. În orice ştiinţă există anumite ipoteze iniţiale din care decurge întregul edificiu şi orice ştiinţă trage anumite concluzii încă neverificate experimental într-un anumit moment istoric. Tocmai aici este locul disputelor ideologice.

În cibernetică aceste dispute sînt deosebit de aprinse în acest moment, discutîndu-se în special problema raporturilor dintre maşină şi intelectul uman, precum şi rolul ciberneticii în societatea viitorului apropiat.

Şi problemele filozofice ale ciberneticii au format la noi în ţară, obiectul unor studii de amploare.

În ultimul timp, prin îngrijirea Academiei R.P.R., Comisia de automatică a organizat mai multe manifestări, în cadrul cărora au fost expuse rezultatele obţinute de specialiştii noştri, prin aplicarea metodelor cibernetice în construcţii, transporturi, automatizări industriale, lingvistică matematică etc.

Primul simpozion de cibernetică a fost organizat la noi în ţară la Cluj, în anul 1960.

Ciberneticienii romîni au participat prin comunicări şi la congresele internaţionale de cibernetică.

În încheiere trebuie arătat că la Bucureşti funcţionează un cerc de cibernetică, pe lîngă Comisia de automatică a Academiei R.P.R. şi o comisie de cibernetică, la Uniunea Societăţilor Ştiinţelor Medicale (U.S.S.M.).

Tot U.S.S.M. a organizat un curs de cibernetică pentru medici şi biologi.

Toate aceste succese ale ciberneticii romîneşti se bucură de o înaltă preţuire şi pe plan mondial, şi sînt o dovadă a avîntului nestăvilit pe care l-au luat în general ştiinţa şi tehnica la noi în anii regimului de democraţie populară.

Scanned with OKEN Scanner

1. ELEMENTE DE TEORIA MULȚIMILOR

1. În cibernetică se utilizează un instrument matematic deosebit de variat, însă un rol esențial revine *teoriei mulțimilor*.

Această ramură a matematicii moderne studiază dintr-un punct de vedere general colecțiile de obiecte, numite *mulțimi*. Astfel, între o turmă de cinci oi și un stol de cinci ciori sau un grup de cinci arbori există anumite relații care nu există între o grămadă de cinci pietre și un stol de nouă vrăbii. De exemplu, în teoria mulțimilor se studiază două mulțimi punînd în corespondență fiecare element al uneia, cu un element al alteia. Dacă este posibil să se stabilească o astfel de relație, cele două mulțimi se numesc de aceeași putere. O astfel de corespondență se poate stabili, de exemplu, între mulțimea numerelor întregi și pozitive

$$1, 2, 3, 4, \ldots, n, \ldots$$

și mulțimea pătratelor acestor numere

$$1, 4, 9, 16, \ldots n^2, \ldots$$

Este ușor de văzut că fiecare dintre numerele din a doua categorie se află printre cele din prima categorie. Dar, datorită corespondenței care se poate stabili, nu este cu putință să se afirme că mulțimea a doua — a pătratelor numerelor naturale — este mai puțin numeroasă decît mulțimea numerelor naturale, infirmînd în acest caz principiul conform căruia „totul este mai mare decît partea". Acest fapt a fost remarcat de *Galileo Galilei* în anul 1638 și constituie una din primele date înregistrate de istorie referitoare la teoria mulțimilor. Se poate considera că un punct nodal în dezvoltarea teoriei mulțimilor în sens contemporan îl constituie lucrările lui *Georg Cantor*, publicate între 1874 și 1897.

În cele ce urmează se vor expune cîteva din elementele acestei teorii matematice fundamentale, noţiunile şi notaţiile ei fiind utilizate azi în mod curent în cele mai diferite domenii ale ciberneticii.

2. Se presupune că termenii de *„mulţime“* şi *„element al unei mulţimi“* sînt noţiuni primare.

Printr-o mulţime se înţelege o colecţie de obiecte care au cel puţin o calitate comună. Exemple: boabele unui ciorchine de strugure, numerele pare şi prime, punctele unei drepte, propoziţiile dintr-o carte.

Principala noţiune a teoriei mulţimilor este aceea de apartenenţă. Faptul că elementul x aparţine mulţimii A se notează prin

$$x \in A,$$

şi se citeşte „x aparţine lui A”. Faptul că x nu aparţine lui A se notează

$$x \notin A \quad \text{sau} \quad x \in' A.$$

Dacă A reprezintă mulţimea numerelor pare, iar B mulţimea numerelor impare, se poate scrie

$$2 \in A, \quad 2 \notin B.$$

Două mulţimi sînt egale dacă şi numai dacă au aceleaşi elemente.

Faptul că două mulţimi A şi B sînt egale se exprimă prin

$$A = B.$$

Faptul că două mulţimi A şi B nu sînt egale se exprimă prin

$$A \neq B.$$

Dacă fiecare element al mulţimii B este în acelaşi timp un element al mulţimii A, atunci se spune că B este o *submulţime* a lui A sau că B este *inclusă* în A sau că A *include* pe B, sau că B este o *parte* a lui A, ceea ce se exprimă scriind

$$A \supset B \quad \text{sau} \quad B \subset A,$$

ceea ce arată că relaţia de incluziune este *antisimetrică*. Situaţia se poate reprezenta grafic ca în fig. 2.1.

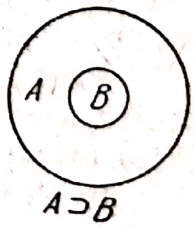


Fig. 2.1

De exemplu, mulţimea numerelor prime este inclusă în mulţimea numerelor naturale.

Relația de incluziune este *reflexivă* $A \subset A$ și *tranzitivă*, deoarece din $A \subset B$ și $B \subset C$ rezultă $A \subset C$.

Ca exemplu, se poate considera :

A = mulțimea pătratelor,

B = mulțimea dreptunghiurilor,

C = mulțimea patrulaterelor.

Este clar că $A \subset B$ și $B \subset C$; rezultă $A \subset C$.

Dacă în același timp subzistă relațiile

$$A \subset B \quad B \subset A,$$

atunci

$$A = B.$$

3. Mulțimile pot fi definite și prin elementele lor.

Astfel, de exemplu, mulțimea A formată din numerele 1, 2 și 3 se poate nota

$$A = \{1,\ 2,\ 3\}.$$

Este posibil ca mulțimile să fie definite și în modul următor :

$$\{x \in A :\ x \text{ număr par}\},$$

care înseamnă : „elementele x care aparțin mulțimii A se caracterizează prin aceea că sînt numere pare".

4. Mulțimile se pot defini plecînd de la o mulțime dată A, din care se selecționează anumite elemente printr-o regulă S.

Fiind dată o mulțime A, o anumită regulă poate împărți pe A în două mulțimi care nu au nici un element comun.

Fie A mulțimea numerelor naturale mai mici ca 10 și fie $S(x)$ condiția ca elementul x să fie un număr impar. Această regulă de specificare a elementelor conduce la formarea mulțimii $\{1, 3, 5, 7, 9\}$.

Dacă A este mulțimea numerelor pare, și $S(x)$ înseamnă condiția ca elementul considerat să fie un număr prim, atunci din A, cu $S(x)$, se definește mulțimea care conține doar un element : $\{2\}$.

Mulțimea care nu cuprinde nici un element se numește mulțime vidă și se notează $\varnothing$. Mulțimea vidă este o submulțime a fiecărei mulțimi, adică $\varnothing \subset A$ pentru orice A.

5. Fiind date mulțimile A și B se pot construi, plecînd de la ele, și alte mulțimi.

Se numește *reuniunea* mulțimilor A și B, mulțimea $A \cup B$ care se definește prin

$$A \cup B = \{x \ :\ x \in A \quad \text{sau} \quad x \in B\}.$$

Scanned with OKEN Scanner

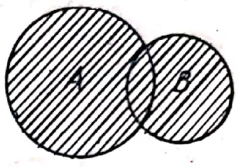
Reuniunea mulțimilor A și B este mulțimea formată din reuniunea elementelor mulțimii A cu elementele mulțimii B. De exemplu

$$\{1, 3\} \cup \{5, 7\} = \{1, 3, 5, 7\}$$
$$\{1, 3\} \cup \{3, 9\} = \{1, 3, 9\}.$$

Grafic situația se poate reprezenta ca în fig. 2.2.

Reuniunea are următoarele proprietăți:

$A \cup \emptyset = A$,
$A \cup B = B \cup A$ (comutativitate),
$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ (asociativitate)
$A \cup A = A$ (idempotență),
$A \subset B$ dacă și numai dacă $A \cup B = B$ (absorbție).



$A \cup B$

Fig. 2.2

Proprietatea de idempotență a mulțimilor față de operația $\cup$ amintește de proprietatea analogă pe care o are numărul 1 față de înmulțire

$$1 \times 1 = 1^2 = 1,$$

care arată că numărul 1 ridicat la orice putere conduce tot la valoarea 1.

Evident că $\{a\} \cup \{b\} = \{a, b\}$, $\{a, b, c\} = \{a\} \cup \{b\} \cup \{c\}$, unde $\{a, b, c\} = \{x : x = a$ sau $x = b$ sau $x = c\}$.

6. Se numește *intersecția* mulțimilor A și B mulțimea $A \cap B$ definită prin

$$A \cap B = \{x \in A \quad \text{și} \quad x \in B\}.$$

Deci intersecția mulțimilor A și B este mulțimea formată din elementele comune mulțimilor A și B. De exemplu,

$$\{1, 3\} \cap \{3, 9\} = \{3\}$$
$$\{1, 3\} \cap \{5, 7\} = \emptyset.$$

Grafic situația se poate reprezenta ca în fig. 2.3 și 2.4.

Intersecția are următoarele proprietăți:

$A \cap \emptyset = \emptyset$,
$A \cap B = B \cap A$,
$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$,
$A \cap A = A$,
$A \supset B$, dacă și numai dacă $A \cap B = B$.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă mulțimile A și B nu au nici un element comun, atunci $A \cap B = \emptyset$; ele se numesc *disjuncte* (fig. 2.4).

7. Se pot demonstra următoarele formule distributive (formulele lui *De Morgan*):

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C),$$
$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

8. Noțiunea de intersecție se poate generaliza la o colecție C de mulțimi.

Pentru fiecare colecție nevidă de mulțimi există o mulțime care conține exact acele elemente care aparțin fiecărei mulțimi din colecția dată.

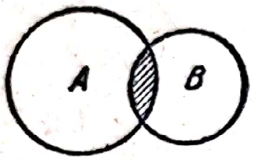


Fig. 2.3

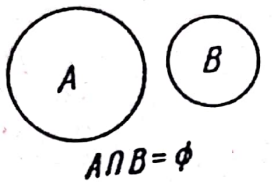


Fig. 2.4

Cu alte cuvinte, pentru oricare colecție C de mulțimi, diferită de $\emptyset$, există o mulțime V, astfel încît $x \in V$ dacă și numai dacă $x \in X$ pentru orice X din C:

$V = \{x \in A : x \in X$ pentru fiecare X din $C\}$.

Mulțimea V se numește intersecția colecției C de mulțimi. Ea se notează

$$\bigcap C \quad \text{sau} \quad \bigcap \{X : X \in C\} \quad \text{sau} \quad \bigcap X \in C.$$

Fie de exemplu mulțimile $X_n = \{1, 2, \ldots, n\}$ pentru $p \geqslant n \geqslant m$. Este clar că intersecția tuturor acestor mulțimi este $\{1, 2, \ldots, m\}$.

9. Pentru două mulțimi A și B, se poate defini *diferența* numită și *complementara relativă* a lui B față de A, ca fiind mulțimea

$$A - B = \{x \in A \quad \text{și} \quad x \notin B\}.$$

Trebuie observat că această definiție nu presupune condiția $B \subset A$.

10. Dacă A și B sînt mulțimi, atunci *diferența simetrică* sau *suma booleană* a mulțimilor A și B, se numește mulțimea

$$A + B = (A - B) \cup (B - A).$$

Suma booleană este comutativă

$$A + B = B + A,$$

asociativă

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

Scanned with OKEN Scanner

şi are proprietăţile

$$A + \emptyset = A,\ A + A = \emptyset.$$

11. Pentru fiecare mulţime există o colecţie de mulţimi care conţine, printre elementele ei, toate submulţimile mulţimii date.

Adică, dacă E este o mulţime, atunci există o mulţime $\mathfrak{P}$, astfel încît dacă $X \subset E$, atunci $X \in \mathfrak{P}$.

Mulţimea $\mathfrak{P}$ se numeşte mulţimea-putere a lui E

$$\mathfrak{P} = \{X : X \subset E\}.$$

În cazul mulţimilor formate numai dintr-unul sau două elemente, mulţimile-putere se pot construi cu uşurinţă. Astfel

$$\mathfrak{P}(\{a\}) = \{\emptyset, \{a\}\}$$

$$\mathfrak{P}(\{a,b\}) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}.$$

În general, pentru o mulţime care are n elemente, mulţimea $\mathfrak{P}$ corespunzătoare are 2^n elemente (care sînt mulţimi).

12. Dacă se consideră că toate mulţimile care intervin într-un anumit raţionament sînt submulţimi ale unei aceleiaşi mulţimi E, este posibil ca atunci cînd se ia diferenţa sau complementara relativă, să nu se mai menţioneze mulţimea E faţă de care se iau aceste diferenţe. În acest caz este uzual ca aceste complementare să se noteze într-un mod mai simplu. Anume, complementara mulţimii A se notează prin A', $\sim A$ sau $\mathbf{C}A$

În condiţiile specificate anterior se pot demonstra următoarele formule:

$$(A')' = A,$$

$$\emptyset' = E,\ E' = \emptyset,$$

$$A \cap A' = \emptyset,\ A \cup A' = E,$$

$A \subset B$ dacă şi numai dacă $B' \subset A'$.

Referitor la complementare, se pot demonstra formulele lui De Morgan:

$$(A \cup B)' = A' \cap B',\ (A \cap B)' = A' \cup B'.$$

În fig. 2.5 se reprezintă grafic o serie de mulţimi construite cu ajutorul operaţiilor de reuniune, intersecţie şi luare a complementarei, plecînd de la două mulţimi A şi B.

13. *Principiul dualităţii.* Se observă că dacă în formulele care exprimă teoreme adevărate şi în care intervin semnele

de incluziune, egalitate, reuniune, intersecție și luare a complementarei față de E, se înlocuiește fiecare mulțime prin complementara ei și se înlocuiesc unii cu alții operatorii de reuniune și de intersecție și, în același timp, se inversează sensul incluziunilor, semnele de egalitate rămînînd în aceleași poziții, rezultă o altă teoremă adevărată.

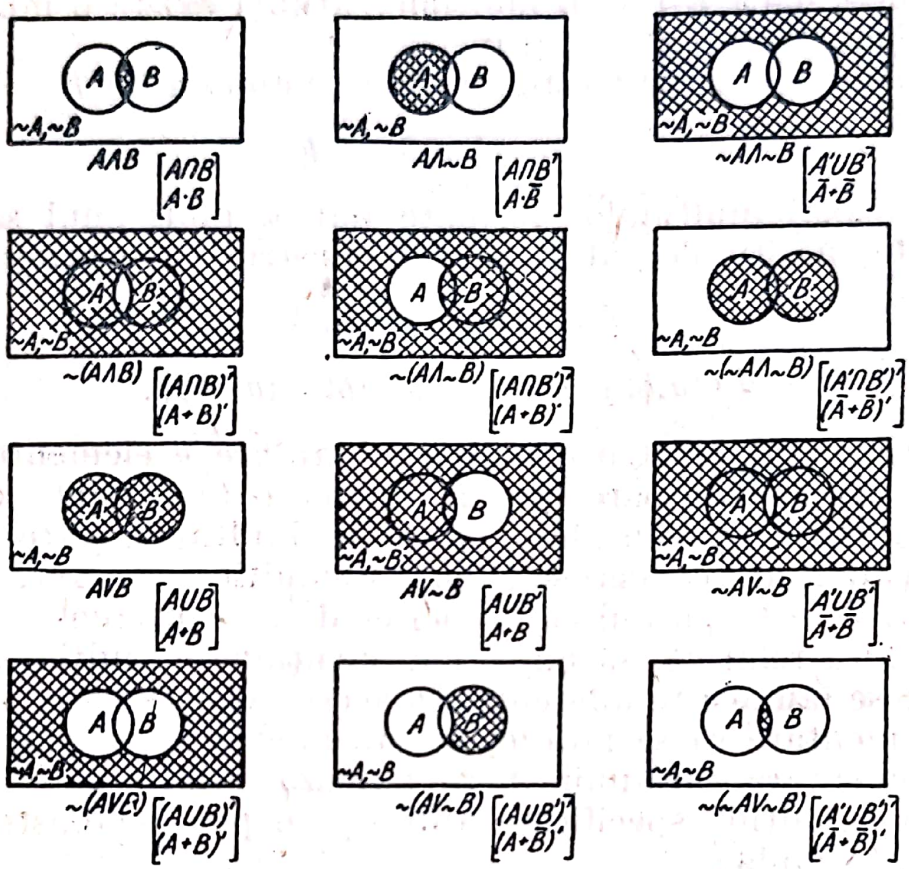


Fig. 2.5

14. Fiind dată o mulțime care conține numai două elemente, se cere să se stabilească o metodă unică, prin care să se pună în evidență unul dintre elementele acestei mulțimi.

Fiind dată mulțimea $\{a, b\}$, ea se numește *pereche ordonată*, formată din a și b, cu prima coordonată a și a doua coordonată b, ceea ce se notează cu (a, b), dacă

$$(a, b) = \{a, \{a, b\}\}.$$

Se arată că dacă (a, b) și (x, y) sînt mulțimi ordonate, astfel încît $(a, b) = (x, y)$, atunci $a = x$ și $b = y$.

Fiind date două mulțimi A și B, se poate construi o altă mulțime care să conțină toate perechile ordonate (a, b), cu

Scanned with OKEN Scanner

$a \in A$ şi $b \in B$. Această mulţime se numeşte produsul cartezian dintre A şi B, şi se notează prin

$$A \times B.$$

Evident,

$$A \times B = \{x : x = (a, b) \text{ pentru un } a \in A \text{ şi un } b \in B\}.$$

Se poate demonstra că

$$(A \cup B) \times X = (A \times X) \cup (B \times X),$$

$$(A \cap B) \times (X \cap Y) = (A \times X) \cap (B \times Y),$$

$$(A - B) \times X = (A \times X) - (B \times X),$$

$$A \times \emptyset = \emptyset.$$

15*). Teoria mulţimilor se poate construi şi în mod axiomatic. Există mai multe sisteme de axiome referitoare la teoria mulţimilor. În cele ce urmează se va prezenta în primul rînd un sistem de axiome care nu recurge la o formalizare pronunţată. În acest scop se vor enunţa axiomele utilizate în prezentarea anterioară a teoriei mulţimilor, prezentare cunoscută şi sub numele de „teoria naivă a mulţimilor".

Axioma extensiunii. Două mulţimi sînt egale dacă şi numai dacă au aceleaşi elemente.

Axioma specificării. Fiecărei mulţimi A şi fiecărei condiţii $S(x)$ îi corespunde o mulţime B, ale cărei elemente sînt exact acele elemente x ale lui A, pentru care condiţia $S(x)$ este satisfăcută.

Axioma perechilor. Pentru două mulţimi oarecare există o mulţime căreia îi aparţin ambele mulţimi.

Axioma reuniunii. Pentru fiecare colecţie de mulţimi există o mulţime care conţine toate elementele ce aparţin cel puţin unei mulţimi din colecţia dată.

Axioma puterilor. Pentru fiecare mulţime există o colecţie de mulţimi care conţine printre elementele ei, toate submulţimile mulţimii date.

Pentru a se construi în mod axiomatic aritmetica, este necesar a se introduce şi alte axiome suplimentare, printre care :

Axioma alegerii. Produsul cartezian al unei familii nevide de mulţimi nevide este nevid.

---

*) La o primă lectură, cititorul poate sări paragrafele care urmează, pînă la sfîrşitul capitolului

Scanned with OKEN Scanner

16. Plecînd de la perechile ordonate, se poate construi o teorie matematică a relațiilor, utilizînd limbajul propriu teoriei mulțimilor.

Fie perechile ordonate (x, y). În aceste grupări, la fiecare x corespunde un y, cu alte cuvinte s-a definit o *relație* corespunzînd unei mulțimi de perechi ordonate.

O mulțime R este o relație dacă fiecare element din R este o pereche ordonată. Aceasta înseamnă că dacă $z \in R$, atunci există două elemente x și y, astfel încît $z = (x, y)$.

Uneori se notează aceasta prin

$$(x, y) \in R \text{ sau } xRy,$$

ceea ce exprimă faptul că x este într-o anumită relație R cu y.

Prin această operație se asociază fiecărei perechi ordonate un element al unei mulțimi R.

Din alt punct de vedere se poate spune că avem de-a face cu două mulțimi care proiectează pe R, una pe prima coordonată și cealaltă pe a doua coordonată. În limbajul teoriei mulțimilor aceste două mulțimi se numesc *domeniul* și *codomeniul* lui R.

Dacă R este o relație în care intervine produsul cartezian $X \times Y$, atunci se spune că R este o relație de la X la Y.

O relație R în X este reflexivă dacă

$$xRx \text{ pentru orice } x \in X.$$

Ea se numește simetrică dacă

$$xRy \text{ implică } yRx.$$

Ea este *tranzitivă* dacă

$$xRy \text{ și } yRz \text{ implică } xRz.$$

O relație între elementele unei mulțimi este o *relație de echivalență*, dacă ea este reflexivă, simetrică și tranzitivă.

Relația de egalitate în X este o relație de echivalență, și anume cea mai mică relație de echivalență. Cea mai mare relație de echivalență în X este $X \times X$.

16. Se numește o *partiție* a lui X o diviziune a mulțimii X într-o colecție C de submulțimi nevide, disjuncte, a căror reuniune dă pe X.

Prin relații de echivalență se pot realiza partiții ale unei mulțimi.

Dacă R este o relație de echivalență în X și dacă $x \in X$, atunci clasele de echivalență ale lui x față de R sînt mulțimile ale căror elemente $y \in X$ pentru care $x\ R\ y$.

Scanned with OKEN Scanner

Se notează prin x/R clasa de echivalență a lui x față de R, și prin X/R mulțimea tuturor claselor de echivalență ale lui X față de R.

Exemple. 1°. Fie X mulțimea numerelor naturale (inclusiv 0) mai mici decît 12, și R restul împărțirii lui x prin 3. Clasele de echivalență sînt :

$$\{0, 3, 6, 9\}, \{1, 4, 7, 10\} \{2, 5, 8, 11\}.$$

2°. Fie L mulțimea tuturor propozițiilor care apar într-o carte. Se presupune existența unui criteriu de distingere a adevărului de fals.

În teoria logică a lui Chrysippos, orice propoziție din L este sau adevărată, sau falsă.

Fie V totalitatea propozițiilor adevărate și fie F totalitatea propozițiilor false din cartea considerată.

Mulțimile V și F formează o partiție pe L.

17. Fie A și B două mulțimi. Dacă printr-un procedeu oarecare se face să corespundă fiecărui element $x \in A$ un element și numai unul singur $y \in F$, se spune că s-a definit o *funcție* pe A cu valori în B.

Prin funcție se înțelege ansamblul format din mulțimea A, mulțimea B și corespondența $x \to y$ de la A la B.

Dacă f este o funcție definită pe A cu valori în B, se spune, de asemenea, că f este o aplicație a lui A în B, ceea ce se notează uneori prin $f : A \to B$.

Dacă printr-o funcție $f : A \to B$ unui element $a \in A$ îi corespunde elementul unic $b \in B$, se spune că b este valoarea funcției f în „punctul" a și se notează cu $f(a)$, deci $b = f(a)$.

Se spune că b este *imaginea* lui a prin funcția f sau că b este *transformatul* lui a prin funcția f, sau că funcția f *transformă* pe a în b.

Un element oarecare x al mulțimii de definiție A se numește *variabilă* sau *argument* al funcției f.

Aplicațiile f ale unei mulțimi A într-o mulțime B sînt elementele unei mulțimi, mulțimea aplicațiilor lui A în B, care se notează $= B^A$.

18. Fie funcția $f : E \to F$. Corespondența $x \to f(x)$ este reprezentată prin perechi ordonate $(x, f(x))$.

Mulțimea G_f a tuturor perechilor ordonate $(x, f(x))$ cu $x \in E$, se numește *graficul funcției* f și se notează

$$G_f = \{(x, f(x) \mid x \in E\}.$$

Scanned with OKEN Scanner

G_f este o parte a produsului cartezian $E \times F$ şi se caracterizează prin următoarele proprietăţi:

1) fiecare element $x \in E$ face parte dintr-o pereche (x, y) a graficului G_f, şi numai din una;

2) în fiecare pereche (x, y) a graficului, cele două coordonate x şi y verifică egalitatea $y = f(x)$; pentru orice altă pereche (x, y) care nu aparţine graficului, avem $y \neq f(x)$.

Egalitatea $y = f(x)$ verificată de toate elementele (x, y) ale graficului şi numai de acestea se numeşte *ecuaţia graficului funcţiei* f.

19. Fie G o submulţime a produsului cartezian $E \times F$, care are proprietatea că fiecare element $x \in E$ face parte dintr-o pereche $(x, y) \in G$ şi numai din una. Se poate defini o funcţie $f : E \to F$ făcînd să corespundă fiecărui element $x \in E$ elementul unic $y \in F$, pentru care $(x, y) \in G$, adică punînd $f(x) = y$ pentru fiecare pereche $(x, y) \in G$. Mulţimea G este graficul funcţiei f astfel definite.

20. Două funcţii f şi g sînt egale dacă sînt definite pe aceeaşi mulţime E, dacă au valori în aceeaşi mulţime F şi dacă stabilesc aceeaşi corespondenţă, adică dacă

$$f(x) = g(x) \text{ pentru orice } x \in E.$$

21. Fie $f : E \to F$ şi fie A o parte a lui E. Mulţimea valorilor luate de funcţia f pe A se numeşte *imaginea directă* a lui A prin funcţia f, sau imaginea lui A prin f şi se notează cu $f(A)$:

$$f(A) = \{f(x) \mid x \in A\}.$$

Mulţimea $f(A)$ este o parte a mulţimii F şi se numeşte *transformata* mulţimii A prin funcţia f.

Imaginea $f(E)$ a întregii mulţimi de definiţie se numeşte *mulţimea valorilor funcţiei* f.

Dacă $f(E) = F$, se spune că f este o *aplicaţie* a lui E pe F. Aceasta înseamnă că fiecare element $y \in F$ este imaginea (cel puţin) a unui element $x \in E$. Dacă $f(E) \subset F$ şi $f(E) \neq F$, atunci f este o aplicaţie a lui E în F.

Fie funcţia $f : E \to F$ şi fie B o parte a lui F. Mulţimea tuturor elementelor $x \in E$ ale căror imagini prin funcţia f aparţin lui B se numeşte *imagine reciprocă* sau inversă a lui B prin funcţia f şi se notează cu $f^{-1}(B)$:

$$f^{-1}(B) = \{x \mid x \in E,\ f(x) \in B\}.$$

22. Funcţia $f : E \to F$ este biunivocă dacă oricare ar fi elementele $x' \neq x''$ din E avem $f(x') \neq f(x'')$, adică două elemente oarecare diferite din E au imagini diferite în F.

Scanned with OKEN Scanner

23. Se numeşte *funcţie inversă* (*reciprocă*) a funcţiei f, funcţia f^{-1} prin care fiecărui element $y \in F$ îi corespunde acel element unic $x \in E$ pentru care $f(x) = y$.

24. Fie x o funcţie de la mulţimea I la mulţimea X. Un element al domeniului I se numeşte *index* (*indice*), I se numeşte *mulţimea indecşilor* (*indicilor*). Codomeniul funcţiilor este *mulţimea indexată*, funcţia în sine se numeşte *o familie*, şi valoarea funcţiei x pentru indicele i se numeşte *termen* al familiei şi se notează prin x_i.

De obicei, se vorbeşte de familia $\{x_i\}$ în X. Este uzual să se noteze $i \in I$.

O familie $\{A_i\}$ a submulţimilor lui X este o funcţie A de la mulţimea I a indicilor la $\mathfrak{P}(X)$.

Dacă $\{A_i\}$ este o familie de submulţimi a lui X, atunci, reuniunea codomeniului funcţiei este reuniunea familiei $\{A_i\}$ sau reuniunea mulţimilor A_i; notaţia uzuală este, în acest caz

$$\bigcup_{i \in I} A_i \quad \text{sau} \quad \bigcup_i A_i.$$

Dacă $I = 2$, atunci codomeniul familiei $\{A_i\}$ este mulţimea neordonată $\{A_0, A_i\}$ şi $\bigcup_i A_i = A_0 \cup A_i$.

Fie $\{I_j\}$ o familie de mulţimi avînd domeniul J şi fie $K = \bigcup_j I_j$; fie $\{A_k\}$ o familie de mulţimi cu domeniul K. Se poate arăta că

$$\bigcup_{k \in K} A_k = \bigcup_{j \in J} \left(\bigcup_{i \in I_j} A_i \right).$$

Dacă $\{A_i\}$ este o familie nevidă de mulţimi, intersecţia codomeniului familiei este intersecţia familiei $\{A_i\}$, sau intersecţia mulţimilor A_i, ceea ce se notează

$$\bigcap_{i \in I} A_i \quad \text{sau} \quad \bigcap_i A_i.$$

Dacă $\{A_i\}$ este o familie de submulţimi ale lui X şi dacă $B \subset X$, atunci

$$B \cap \bigcup_i A_i = \bigcup_i (B \cap A_i) \quad B \cup \bigcap_i A_i = \bigcap_i (B \cup A_i),$$

ceea ce constituie o generalizare a legilor distributive.

Se poate arăta că dacă $\{A_i\}$ şi $\{B_j\}$ sînt familii de mulţimi, atunci

$$\left(\bigcup_i A_i\right) \cap \left(\bigcup_j B_j\right) = \bigcup_{i,j} (A_i \cap B_i)$$
$$\left(\bigcap_i A_i\right) \cup \left(\bigcap_j B_j\right) = \bigcap_{i,j} (A_i \cup B_j)$$

unde $\bigcup_{i,j}$ este o prescurtare a semnului $\bigcup_{(i,j) \in I \times J}$.

25. În general, în prezentarea axiomatică a teoriei mulţimilor se foloseşte aşa-numita *limbă-obiect*, adică un limbaj

Scanned with OKEN Scanner

în care se expun proprietățile mulțimilor și, de asemenea, o *metalimbă*, adică o limbă în care discutăm despre cele exprimate în limba-obiect. Metalimba pe care o vom utiliza va fi, desigur, limba romînă.

Metaforic, se poate considera că limba-obiect utilizată în teoria mulțimilor ar corespunde notației folosite de șahiști pentru descrierea partidelor. Comentariile referitoare la partidele respective se fac în metalimbă dacă ne situăm din punctul de vedere al șahului.

În limba-obiect întîlnim *simboluri*.

Ideea de bază este de a crea un sistem în care se utilizează numai anumite simboluri bine definite și care sînt legate între ele prin reguli bine precizate. Aceasta este o idee relativ veche, germenii ei găsindu-se la catalanul *Raymond Lull*, care a trăit în secolul al XIII-lea. Mai recent, de probleme oarecum analoge s-a ocupat matematicianul și filozoful *Leibniz*. În epoca noastră, a zborurilor cosmice, se pune problema stabilirii de legături cu ființe raționale din alte lumi. Cu ele se poate intra în comunicație numai cu semnale electrice simple. Se pune problema creării unui limbaj care să poată fi învățat de acele ființe raționale care nu pot vedea obiectele la care ne referim și care nu cunosc nici una dintre limbile pămîntenilor.

Teoria axiomatică a mulțimilor își are originea directă în lucrările unei pleiade de mari matematicieni, ca *Dedekind*, *Cantor*, *Boole*, *Peano*, *Whitehead*, *Hilbert*, *Akermann* și alții.

Teoria axiomatică a mulțimilor este deci un sistem matematic care încearcă să formuleze rezultatele cu o rigoare logică maximă.

Simbolurile sînt de mai multe feluri. Se poate da o clasificare a lor care să cuprindă următoarele categorii : constante, variabile, conective sentențiale, cuantificatori sau operatori și simboluri de punctuație sau de grupare.

Constantele primitive sînt relația de apartenență $\in$ și constanta $\emptyset$, care denotă mulțimea vidă.

De asemenea, se utilizează semnul $=$, care este simbolul identității.

Variabilele generale se notează cu litere mici : x, y, z, ...

Conectivele sentențiale sînt în număr de cinci

$$-,\ \&,\ \vee,\ \rightarrow,\ \leftrightarrow$$

și cei trei cuantificatori logici sînt

$$\forall,\ \exists,\ E!$$

Simbolurile de punctuație utilizează paranteze, deschise spre dreapta și spre stînga.

Scanned with OKEN Scanner

Se utilizează de asemenea prescurtarea (yM), care înseamnă „y este o mulțime".

Notațiile utilizate se explică în cele ce urmează.

26. Simbolurile se grupează în formule (definiția lor se va da în cele ce urmează), care se notează prin litere majuscule aldine, de exemplu $\boldsymbol{P}$.

Iată un dicționar de notații :

Numele operatorului	Limba-obiect (LO)	Metalimba (ML)
Negație	$-\mathbf{P}$	nu este cazul cu **P**
Conjuncție	$\mathbf{P} \,\&\, \mathbf{Q}$	**P** și **Q**
Disjuncție	$\mathbf{P} \vee \mathbf{Q}$	**P** sau **Q**
Implicație	$\mathbf{P} \to \mathbf{Q}$	dacă **P** atunci **Q**
Echivalență	$\mathbf{P} \leftrightarrow \mathbf{Q}$	**P** dacă și numai dacă **Q**
Cuantificator universal	$(\forall \mathbf{v})\,\mathbf{P}$	pentru orice **v**, **P**
Cuantificator existențial	$(\exists \mathbf{v})\,\mathbf{P}$	pentru un **v**, **P**
Cuantificator individual	$(\mathrm{E}!\,\mathbf{v})\,\mathbf{P}$	există numai un singur **v**, astfel încît **P**

La această listă se poate adăuga prescurtarea (yM), care în ML înseamnă „y este o mulțime".

27. Iată cîteva exemple de traduceri din ML în LO.

1°. ML : „Pentru fiecare număr x există un alt număr y astfel încît $y > x$".

$$\text{LO} : (\forall x)\,(\exists y)\,(y > x). \tag{1}$$

2°. ML : „Pentru fiecare ε există un δ, astfel încît pentru fiecare y, dacă $|x - y| < \delta$, atunci $|f(x) - f(y)| < \varepsilon$".

$$\text{LO} : (\forall \varepsilon),\ (\exists \delta),\ (\forall y)\ (|x-y| < \delta \to |f(x) - f(y)| < \varepsilon). \tag{2}$$

3°. ML : „Pentru fiecare x există numai un singur y, astfel încît $x + y = 0$".

$$\text{LO} : (\forall x)\ (\mathrm{E}!\,y)\,(x + y = 0) \tag{3}$$

Se precizează, de asemenea, că semnul $=$ reprezintă identitatea, în sensul că „$x = y$" se citește „x este același cu y" sau „x este egal cu y", prin „egalitate" înțelegîndu-se identitatea.

28. Pentru dezvoltarea calculelor trebuie avut în vedere caracterul tranzitiv al implicației și echivalenței, în sensul că

$$\mathbf{R1} \qquad (\mathbf{P} \to \mathbf{Q}) \,\&\, (\mathbf{Q} \to \mathbf{R}) \to (\mathbf{P} \to \mathbf{R})$$

$$\mathbf{R2} \qquad (\mathbf{P} \leftrightarrow \mathbf{Q}) \,\&\, (\mathbf{Q} \leftrightarrow \mathbf{R}) \leftrightarrow (\mathbf{P} \leftrightarrow \mathbf{R}),$$

Scanned with OKEN Scanner

cît şi legea distributivităţii simbolului &, în sensul că

R3 $$(P \vee Q) \& R \leftrightarrow (P \& R) \vee (Q \& R),$$

unde **P**, **Q** şi **R** sînt formule.

Prin R1, R2, R3 s-au notat regulile logicii sentenţiale.

29. În cele ce urmează, prin litere aldine de rînd **u**, **v**, ... se notează variabilele metamatematice, care pot lua în LO valori variabile x, y, ... sau ca constanta $\varnothing$. Prin litere aldine majuscule, **P**, **Q**, ..., ca şi prin litere greceşti φ, ψ se notează variabilele metamatematice care în LO sînt formule. Prin litere majus- *A*, *B* etc., se notează mulţimi. Prin litere de rînd *x*, *y* etc. se notează *variabilele generale* care pot fi valori, mulţimi sau indivizi.

30. Prin *expresii* în limba-obiect se înţelege orice succesiune finită, formată din cele cinci simboluri ale limbii.

Unele dintre aceste expresii, datorită structurii lor, se numesc *formule primitive.*

Se numeşte *formulă primitivă atomală* o expresie de forma $(\mathbf{v} \in \mathbf{w})$, sau de forma $(\mathbf{v} = \mathbf{w})$, unde **v** şi **w** sînt fie variabile generale, fie constanta $\varnothing$.

De exemplu, $x \in y$ sau $z = \varnothing$ sînt formule primitive atomale, în timp ce $x \in y \rightarrow y \in z$ sau $c \rightarrow \in$ nu sînt astfel de formule primitive atomale.

Pentru formulele primitive se poate da o definiţie recursivă :

1) orice formulă primitivă atomală este o formulă primitivă ;

2) dacă **P** este o formulă primitivă, atunci $\neg\mathbf{P}$ este o formulă primitivă ;

3) dacă **P** şi **Q** sînt formule primitive, atunci $\mathbf{P}\&\mathbf{Q}$, $\mathbf{P} \vee \mathbf{Q}$, $\mathbf{P} \rightarrow \mathbf{Q}$ şi $\mathbf{P} \leftrightarrow \mathbf{Q}$ sînt formule primitive ;

4) dacă **P** este o formulă primitivă şi *v* este orice variabilă generală, atunci $(\forall \mathbf{v})\mathbf{P}$, $(\exists \mathbf{v})\mathbf{P}$ şi $(\mathrm{E}\,!\mathbf{v})\mathbf{P}$ sînt formule primitive ;

5) nici o expresie din limba-obiect nu este o formulă primitivă, dacă ea nu este construită respectîndu-se regulile 1—4.

2. ALGEBRA BOOLEANĂ

1. Numeroase probleme au sens numai atunci cînd soluţia este un număr întreg. La problema în care se cere numărul cailor care pot efectua un anumit transport, sau al strungurilor cu care se poate prelucra într-o săptămînă un număr de piese, sau

al oamenilor, care pot efectua o anumită lucrare, răspunsurile se pot traduce în viaţă numai prin numere întregi.

În ştiinţă, mult timp s-au studiat funcţiile la care intervin variabile care variază în mod continuu.

Se poate însă întreprinde un studiu al funcţiilor în care atît variabilele independente, cît şi funcţia dependentă, au variaţii discontinue, luînd numai valori întregi. Cazul cel mai simplu care se poate imagina este acela al unei funcţii, la care atît variabila independentă x, cît şi funcţia f_i au numai două valori posibile, fie ele 0 şi 1. Astfel de funcţii se numesc *booleene*, după numele matematicianului *G. Boole* (1815—1864) care le-a studiat în mod sistematic.

Se pune problema de a determina care sînt toate funcţiile de acest gen. Pentru aceasta construim tabela alăturată.

x	0	1
f_1	0	0
f_2	0	1
f_3	1	0
f_4	1	1

Deoarece alte posibilităţi nu mai există, se ajunge la concluzia că pot exista doar patru funcţii de o singură variabilă

2. Să interpretăm aceste funcţii.

Funcţia f_1 se caracterizează prin aceea că, indiferent de valoarea variabilei independente, are mereu valoarea 0 :

$$f_1(x) = 0.$$

Este deci vorba despre o transformare care, indiferent de valoarea variabilei independente, duce la o constantă. Această funcţie nu prezintă interes pentru studiul nostru.

Funcţia f_2 prezintă o proprietate diferită; este o transformare identică, putîndu-se scrie

$$f_2(x) = x.$$

Cea de-a treia funcţie, adică f_3, este cea mai interesantă din punctul nostru de vedere, deoarece transformă pe 1 în 0 şi pe 0 în 1. Este uzual a se nota

$$f_3(x) = x', \text{ sau } f_3(x) = \bar{x}, \text{ sau } f_3(x) = \sim x.$$

Toate aceste notaţii sînt utilizate în literatura de specialitate; operatorul $\sim$ se numeşte *tilda*.

Funcţia f_4 este de asemenea o transformare neinteresantă,

$$f_4(x) = 1.$$

Scanned with OKEN Scanner

Funcţia f_3 poate fi considerată ca rezultînd din aplicarea unui *operator* asupra variabilei independente. Considerînd problema din acest punct de vedere, operatorul respectiv se numeşte *operatorul de negaţie* sau operatorul NU.

3. În mod asemănător se pot construi funcţiile booleene de două variabile. În acest caz este necesar să determinăm în primul rînd numărul tuturor funcţiilor booleene de două variabile.

O astfel de funcţie poate fi definită cu ajutorul unei matrice, o aşa-numită *tabelă de adevăr*. La o astfel de tabelă, pe intrarea orizontală se notează valorile uneia dintre variabile şi pe intrarea verticală, valorile celeilalte variabile. Deoarece fiecare dintre variabilele independente ia două valori posibile, rezultă că tabela de adevăr are în total $2 \times 2 = 4$ căsuţe. Dar, în fiecare căsuţă se pot înscrie fie valori 0, fie valori 1, adică una din două valori posibile. Rezultă că în total sînt posibile $2^{2^2} = 16$ funcţii booleene de două variabile.

4. Înainte de a studia proprietăţile acestor funcţii, putem extinde raţionamentul nostru pentru a determina numărul funcţiilor booleene de trei variabile. În acest scop se consideră un sistem de trei axe rectangulare, fiecare dintre axe corespunzînd unei anumite variabile. Deoarece fiecare variabilă ia una din două valori posibile, rezultă că în total sînt posibile $2^3 = 8$ căsuţe în cubul considerat. Deoarece în fiecare căsuţă se pot înscrie fie valori 0 fie valori 1, adică una din două valori posibile, rezultă că, în total, sînt posibile $2^{2^3} = 256$ funcţii booleene de trei variabile.

În mod asemănător se poate considera cazul funcţiilor de n variabile independente. În acest caz se va considera un hipercub, avînd n muchii perpendiculare unele pe altele. Acest cub va fi împărţit în 2^n celule elementare, în fiecare dintre aceste celule putîndu-se înscrie fie valoarea 0 fie valoarea 1. Deci în total sînt posibile 2^{2^n} funcţii booleene de n variabile.

Numărul funcţiilor booleene creşte foarte repede, o dată cu n.

Numărul tuturor funcţiilor booleene de 10 variabile este

$$2^{2^{10}} \approx 10^{300}.$$

Dacă însă se consideră că de cînd a început Pămîntul să se răcească au trecut circa 2,5 miliarde ani, se ajunge la concluzia că acest număr, exprimat în secunde, reprezintă

$$2{,}5 \times 10^9 \times 365 \times 86\,400 < 10^{17},$$

ceea ce arată că numărul funcţiilor booleene de zece variabile este cu mult mai mare decît numărul de secunde care s-au scurs de cînd a început Pămîntul să se răcească şi pînă în prezent.

Scanned with OKEN Scanner

La prima vedere s-ar părea că omul de știință este pus în fața unei situații foarte dificile, deoarece nu are posibilitatea să abordeze studiul acestor funcții. Oprindu-se numai la cazul funcțiilor de zece variabile și dedicînd doar o singură secundă fiecăreia dintre aceste funcții, este imposibil ca un om să parcurgă mai mult decît o fracțiune infimă din întregul număr, chiar dacă ar lucra 8 ore pe zi întreaga sa viață. Considerînd că el lucrează circa 30 000 s zilnic, timp de 300 zile pe an, rezultă că în 40 de ani de viață el poate studia doar $3{,}6 \times 10^8$ funcții, ceea ce reprezintă doar o fracțiune infimă din numărul total al acestor funcții.

Dar și în acest caz se poate vedea puterea generalizatoare a spiritului uman. Așa după cum se va demonstra în acest capitol, nu este necesar ca omul să studieze efectiv fiecare funcție în parte, deoarece cu ajutorul rațiunii el reușește să stabilească o metodă efectivă și generală, cu ajutorul căreia poate cunoaște proprietățile oricărei funcții booleene, reducînd-o la o combinație simplă de funcții booleene elementare.

În acest scop, este indicat să studiem, în particular, cîteva dintre funcțiile booleene de două variabile.

5. Așa după cum s-a arătat de la început, sînt posibile în total 16 astfel de funcții, fiecare dintre ele fiind caracterizată printr-o anumită tabelă de adevăr. Nu este necesar să construim toate aceste tabele, oprindu-ne momentan atenția numai la două dintre ele, și anume la funcțiile notate în mod uzual

$$y = x_1 \,\&\, x_2 \qquad y = x_1 \vee z.$$

Funcția $y = x_1 \,\&\, x_2$ se numește și *conjuncție* logică, și se caracterizează prin tabela *a*.

Într-un limbaj în parte diferit, se spune că funcția $x_1 \,\&\, x_2$ se obține aplicînd variabilelor x_1 și x_2, operatorul ȘI.

Funcția $y = x_1 \vee x_2$ se numește *disjuncție* logică și se caracterizează prin tabela de adevăr *b*.

Se poate spune că funcția $x_1 \vee x_2$ se obține aplicînd variabilelor x_1 și x_2 operatorul SAU.

Se observă că conjuncția logică are valoarea 1 atunci și numai atunci cînd ambii termeni care intervin în această expresie au valoarea 1.

a

x_1 \ x_2	0	1
0	0	0
1	0	1

b

x_1 \ x_2	0	1
0	0	1
1	1	1

Scanned with OKEN Scanner

Dimpotrivă, în cazul disjuncției logice, este suficient ca unul dintre termeni să aibă valoarea 1, pentru ca funcția să aibă de asemenea valoarea 1.

Acest fapt permite a se nota conjuncția logică și sub formă multiplicativă, scriind x_1x_2 în loc de $x_1 \& x_2$.

Această notație sugerează și numirea de produs logic dată uneori conjuncției logice. Evident produsul logic se poate generaliza la oricît de mulți termeni, scriind, de exemplu,

$$y = x_1x_2 \ldots x_n.$$

O astfel de funcție booleană are valoarea 1 numai și numai atunci cînd toți termenii care intervin în produs au simultan valoarea 1.

În cazul disjuncției logice se poate proceda în mod asemănător, utilizînd o notație aditivă, dar ținînd seamă de faptul că este vorba despre o „adunare saturată", în sensul că chiar dacă suma respectivă are o valoare mai mare decît 1, se înlocuiește această valoare prin 1.

Se poate deci scrie $x_1 + x_2$ în loc de $x_1 \vee x_2$.

Evident, și această sumă logică poate să fie extinsă la un număr finit de termeni, scriind, de exemplu,

$$y = x_1 + x_2 + \ldots + x_n.$$

Această funcție are valoarea 0 numai și numai atunci cînd simultan toți termenii care intervin în sumă au valoarea 0. Este suficient ca unul dintre termeni să aibă valoarea 1, pentru ca funcția să aibă valoarea 1.

Înainte de a trece mai departe, se poate considera o notație care va fi utilă în cele ce urmează. Fie, anume, o expresie de forma x^a, unde atît variabila x cît și exponentul a pot avea valoarea 0 sau 1. Este clar că în cazul în care exponentul are valoarea 1, este indicat a se conveni ca $x^1 = x$, deci $0^1 = 0, 1^1 = 1$.

Convenim a scrie, prin simetrie,

$$x^0 = x'$$

deci $0^0 = 1, 1^0 = 0$.

Se poate formula atunci următoarea regulă generală: o expresie de forma $E = x^a$ are valoarea 1 numai și numai atunci cînd $x = a$. În caz contrar, expresia are valoarea 0.

Să considerăm atunci un produs de forma

$$E = \Pi x_i^{a_i} = x_1^{a_1} x_2^{a_2} \ldots x_n^{a_n}.$$

Se știe că acest produs are valoarea 1 numai și numai atunci cînd toți termenii săi au valoarea 1. Ținînd seamă de regula pre-

Scanned with OKEN Scanner

cedentă, se deduce imediat că expresia E are valoarea 1 numai și numai dacă este satisfăcută condiția $x_i = a_i$.

Fie o funcție booleană oarecare $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, dată sub forma unei tabele de adevăr. Să considerăm de asemenea funcția

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigvee_{a_1, \ldots, a_n} x_1^{a_1} \; x_2^{a_2} \; \ldots x_n^{a_n} \; f(a_1, a_2, \ldots, a_n)$$

la care adunarea logică se extinde asupra tuturor mărimilor a_j.

Se observă imediat că atunci cînd variabilelor x_i ($i = 1, 2, \ldots, k$) li se dă o anumită valoare, fie ea a_i, atunci f are valoarea

$$f(a_1, a_2, \ldots, a_n).$$

În ceea ce privește pe F din diferiții termeni care intervin în această sumă, este cazul să se rețină numai aceia la care monomul

$$x_1^{a_1} \; x_2^{a_2} \; \ldots \; x_n^{a_n}$$

are valoarea 1, deoarece se știe că valoarea unei sume nu se schimbă, atunci cînd se elimină din ea termenii care au valoarea zero.

Se poate scrie deci

$$F(a_1, a_2, \ldots, a_n) = \bigvee f(a_1, a_2, \ldots, a_n) = f(a_1, a_2, \ldots, a_n),$$

unde suma logică din membrul din dreapta se extinde la toți termenii pentru care $a_i = x_i$.

Dar, se constată imediat că $F = f$. În modul acesta s-a stabilit o teoremă foarte importantă. Anume, s-a arătat că o funcție booleană de un număr *oarecare* de variabile, poate fi echivalentă cu o funcție logică care rezultă din adunarea unor produse logice. În aceste produse logice intervin atît variabilele independente, cît și negările lor. Se poate deci enunța următoarea teoremă, esențială pentru cibernetică:

Orice funcție booleană de un număr finit de variabile poate fi reprezentată sub forma unei sume de produse logice, în care intervin variabilele independente și negațiile acestora.

Cu alte cuvinte, orice operator care acționează asupra unei grupări de n variabile booleene poate fi obținut numai din trei operatori, și anume din operatorii: NU, SAU, ȘI, aplicați de un număr finit de ori, dacă n e finit.

Această observație este esențială, deoarece operatorii NU, SAU, ȘI pot să fie modelați cu ușurință cu ajutorul unor dispozitive electronice. Rezultă de aici imediat posibilitatea reali-

Scanned with OKEN Scanner

zării fizice a unor dispozitive care să reprezinte orice funcție booleană de un număr finit de variabile.

Pentru a se concretiza ideile referitoare la teorema precendentă privind reprezentarea funcțiilor booleene, se consideră un exemplu de sinteză referitor la o funcție de trei variabile. Fie anume funcția logică dată prin tabela de adevăr alăturată.

x_1	x_2	x_3	f
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

Pentru sinteză, este necesar să se considere întîi toți cei opt termeni $x_1^{a_1} x_2^{a_2} x_3^{a_3}$, care apoi se adună:

$$x_1^0 x_2^0 x_3^0 f(0, 0, 0) + \\ + x_1^0 x_2^0 x_3^1 f(0, 0, 1) + \ldots$$

Din această sumă se reține însă numai acei termeni pentru care $f(a_1, a_2, a_3)$ are valoarea 1, deci se trece la suma

$$x_1' x_2 x_3' + x_1 x_2' x_3' + x_1 x_2' x_3,$$

adică se reține numai termenii corespunzători cu valoarea $f = 1$, din tabela de adevăr. În concluzie, se poate scrie

$$f = x_1' x_2 x_3' + x_1 x_2' x_3' + x_1 x_2' x_3.$$

Se poate verifica cu ușurință că, pentru orice combinație de valori date variabilelor independente, se obține o identitate, valorile membrilor din stînga și din dreapta fiind aceleași.

Se menționează că, alături de această formă de reprezentare a unei funcții booleene, numită formă *canonică* de sumă de produse logice, există și o a doua formă canonică simetrică, prin care funcția este pusă sub forma unui produs de sume logice.

Conform unui principiu general valabil pentru funcțiile booleene, într-o identitate, dacă se înlocuiește operatorul sumă prin operatorul produs și invers, și variabilele nenegate prin variabile negate și invers, atunci se obține o nouă identitate. Acest principiu este analog celui formulat în capitolul I, referitor la teoria mulțimilor.

Aceasta înseamnă că, în cazul unei funcții date prin tabela de adevăr, dacă se urmărește punerea acestei funcții sub o formă canonică de produse de sume, se reține din tabelă numai liniile corespunzînd la $f = 0$ și se aplică formula și metoda date anterior pentru prima formă canonică, avînd grijă ca în rezultatul final să se înlocuiască produsele prin sume și invers.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul exemplului considerat, se poate scrie

$$f = (x_1 + x_2 + x_3)\ (x_1 + x_2 + x_3')\ (x_1 + x_2' + x_3')\ (x_1' + x_2' + x_3)\ (x_1' + x_2' + x_3').$$

Se poate verifica cu uşurinţă că într-adevăr subzistă această egalitate.

În încheiere, trebuie arătat că, alături de funcţiile booleene de variabile bivalente, adică cele care pot avea numai valorile 0 sau 1, în ştiinţă şi tehnică intervin şi funcţii în care variabilele au mai multe valori posibile — 3, 4,..., s — unde s este un număr întreg şi pozitiv. Aşa după cum a arătat acad. *Gr. C. Moisil*, astfel de calcule intervin în legătură cu studiul unor tipuri de relee utilizate în telefonie.

După numele matematicianului polonez *Lukasievicz*, care a studiat astfel de probleme, funcţiile respective se numesc şi funcţii lukasieviciene.

x_1 \ x_2	0	1
0	1	0
1	0	0

Se verifică cu uşurinţă că numărul funcţiilor de acest tel, de n variabile, este

$$s^{s^n}.$$

Se menţionează că în ultimul timp, referitor la reprezentarea funcţiilor booleene, se acordă importanţă şi unei funcţii de două variabile, descrisă prin tabela de adevăr alăturata:

Operatorul logic corespunzător se numeşte NICI.

Cu operatorul NICI se pot realiza toate cele 16 funcţii booleene de două variabile.

Pentru aceasta este suficient a observa că cu ajutorul operatorului NICI se pot construi operatorii ŞI, SAU, NU.

Operatorul NICI aplicat elementelor x, y îl vom nota xNy.

Se observă atunci că subzistă relaţiile:

$$0Ny = y' \qquad x'Ny' = x \& y$$

$$(0\,Nx)N(0\,Ny) = x \& y$$

$$(xNy)' = x \vee y \qquad 0\,N\,(xNy) = x \vee y.$$

Prin 0 s-a notat, ca întotdeauna, un element care are valoarea constantă 0.

Scanned with OKEN Scanner

3. MODELE

1. Ca orice adevăr matematic, datorită gradului său înalt de abstracție, algebra booleană poate fi aplicată la numeroase cazuri concrete. În cele ce urmează se vor prezenta o serie de interpretări concrete ale logicii booleene, adică o serie de modele ale acestui calcul matematic.

Să considerăm întîi o conductă de gaze naturale, pe care sînt dispuse, unul după altul, două robinete (fig. 3.1). Drept funcție y se consideră starea porțiunii de conductă dispusă după robinete în direcția de înaintare a gazelor; se notează cu 0 starea în care gazele nu circulă și cu 1 starea în care gazele circulă. Desigur că prin conductă gazele nu pot trece decît dacă ambele robinete sînt deschise simultan.

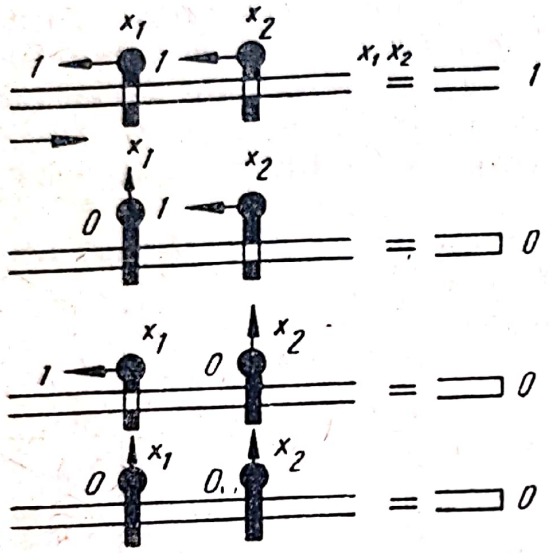


Fig. 3.1

Dacă se notează prin 0 starea unui robinet închis și prin 1 starea unui robinet deschis, se constată că, pentru instalația de gaze considerată, subzistă tabela de mai jos, unde prin x_1 și x_2 s-au notat stările celor două robinete, tabela dînd starea conductei de gaze.

Se observă imediat că instalația modelează operatorul ȘI, în sensul că între tabela acestui operator, definită în algebra booleană, și starea conductei de gaze, există o identitate perfectă. Variabilele independente sînt valorile asociate cu starea robinetelor, iar valoarea funcției e dată de variabila asociată stării conductei.

x_1 \ x_2	0	1
0	0	0
1	0	1

Se verifică ușor că, în cazul în care robinetele sînt montate în paralel (fig. 3.2), starea conductei este dată de tabela de la pag. 33.

Deci această instalație modelează operatorul SAU.

Se poate concepe însă un robinet care, atunci cînd este învîrtit la dreapta este deschis, și, dimpotrivă, atunci cînd este

Scanned with OKEN Scanner

învîrtit la stînga este închis. Un astfel de robinet se comportă invers decît un robinet obişnuit şi starea lui poate fi considerată ca o negare a stării robinetului normal, care ar fi montat în locul său (fig. 3.3). El modelează deci un operator NU.

Iată deci că cei trei operatori fundamentali — NU, SAU ŞI — pot fi modelaţi simplu cu ajutorul unor robinete.

2. Un alt gen de modelare al algebrei booleene se obţine punînd în corespondenţă variabilele booleene cu contactele electrice. Aceste contacte au numai două stări posibile, fiind sau deschise, sau închise. Două reţele, formate dintr-un număr oarecare de contacte şi care prezintă numai două

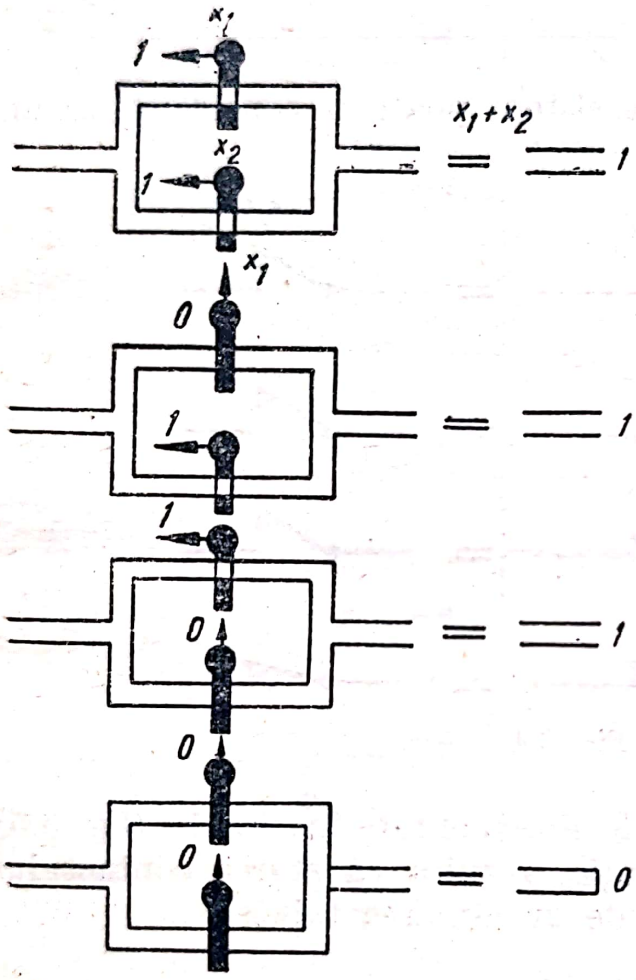


Fig. 3.2

x_1 \ x_2	0	1
0	0	1
1	1	1

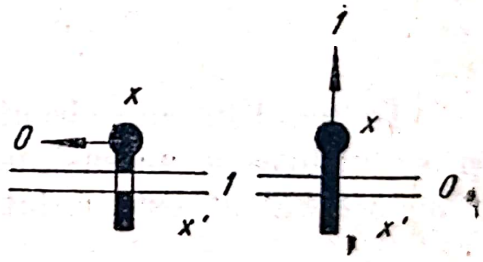


Fig. 3.3

borne de acces, se consideră echivalente dacă prezintă amîndouă aceeaşi conductibilitate.

Să considerăm anume un circuit format din două contacte electrice, montate în serie (fig. 3.4), şi fie x_1 şi x_2 stările lor de conductibilitate. Să notăm prin 0 starea unui contact deschis şi prin 1 starea unui contact închis. Se constată uşor că sistemul format din cele două contacte montate în serie este echivalent

cu un alt contact unic, notat y, a cărui stare depinde de valorile variàbilelor x_1 şi x_2, conform următoarei tabele:

x_1 \ x_2	0	1
0	0	1
1	0	1

Reiese imediat că acest sistem poate fi considerat ca un model al operatorului ŞI.

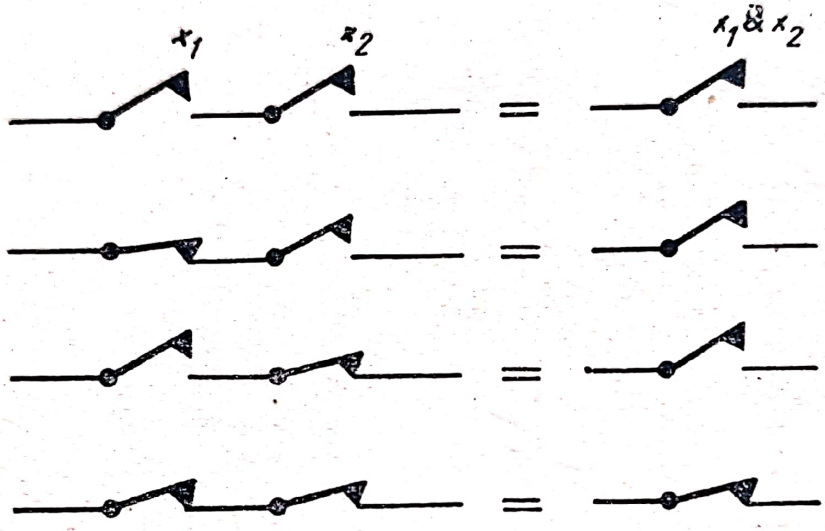


Fig. 3.4

În cazul în care circuitele sînt montate în paralel (fig. 3.5) şi se utilizează aceeaşi notaţie, rezultă că starea contactului unic echivalent este redată de următoarea tabelă:

x_1 \ x_2	0	1
0	0	1
1	1	1

Deci această operaţie modelează operatorul SAU.

Pentru modelarea operatorului NU, se consideră că contactele sînt acţionate de nişte pîrghii, contactele fiind închise

Scanned with OKEN Scanner

atunci cînd pîrghia este apăsată. Dacă se realizează însă o instalaţie la care contactul este închis atunci cînd pîrghia nu este apăsată şi se deschide atunci cînd pîrghia este apăsată (fig. 3.6) acest contact modelează operatorul NU.

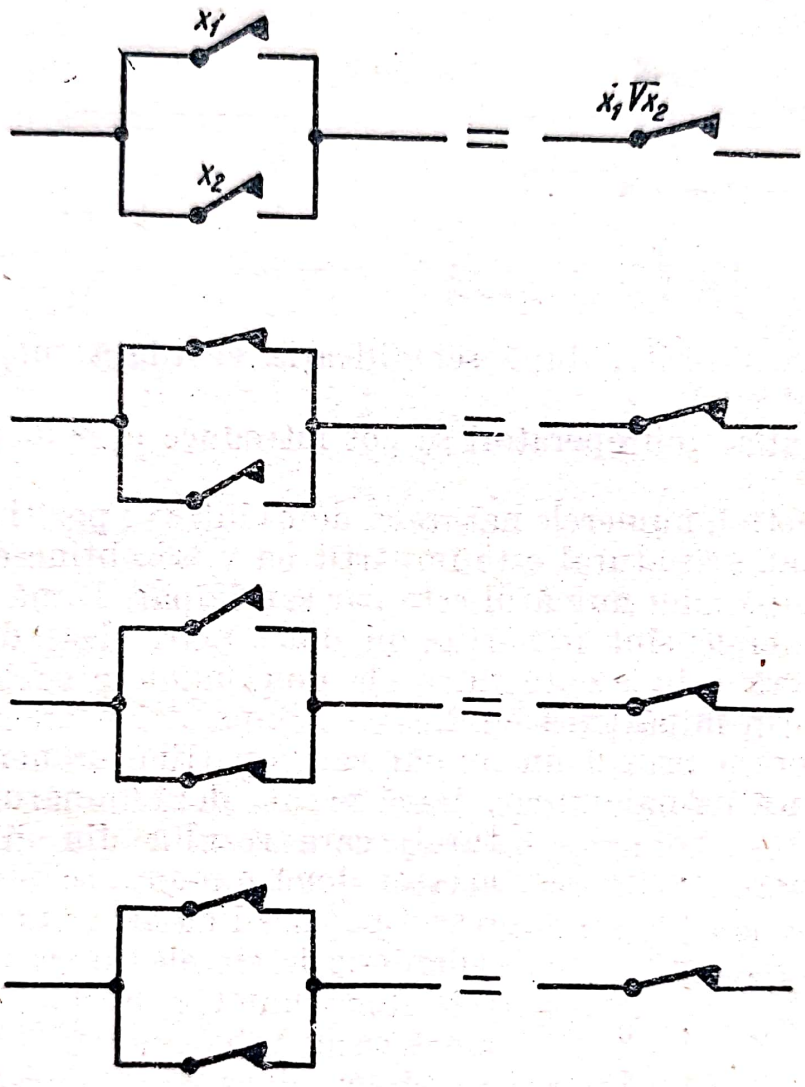


Fig. 3.5

3. Se poate arăta însă că există posibilitatea de a modela operatorii booleeni, tot cu contacte electrice, însă într-un mod diferit. Pentru aceasta vom nota prin 1 starea unui contact electric deschis şi prin 0 starea unui contact electric închis; atunci circuitul format din două contacte montate în serie este echivalent cu un contact unic, a cărui stare este redată prin tabela de la pag. 36.

Deci, în noile condiţii acest circuit modelează operatorul SAU.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care contactele sînt montate în derivație, cu noile convenții specificate se modelează operatorul ȘI.

Iată deci o primă concluzie importantă care reiese din cele arătate : există mai multe posibilități de a modela o relație matematică. Un același dispozitiv fizic poate reprezenta relații

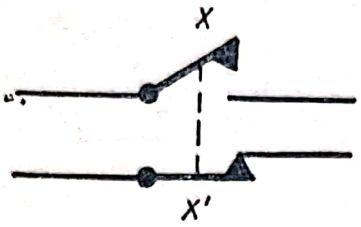


Fig. 3.6

x_1 \ x_2	0	1
0	0	1
1	1	1

matematice diferite, după semnificația acordată mărimilor ce o caracterizează.

4. Pentru unii operatori se pot introduce ușor modele aritmetice.

Fie, astfel, numerele naturale, adică întregii pozitivi. Atunci cînd un număr natural este împărțit cu 2, se obține ca rest fie 0, fie 1, după cum numărul este par sau impar. După acest criteriu, numerele sînt împărțite în două mari clase de resturi. Se consideră echivalente între ele două numere care dau același rest prin împărțirea cu 2.

Să notăm prin 0 un număr care aparține numerelor pare și prin 1 un număr impar. Dacă se consideră numărul (tot natural) care rezultă din înmulțirea acestor două numere, se constată că restul pe care-l dă el la împărțirea cu 2 depinde de clasele cărora aparțineau cele două numere. Situația se prezintă ca în tabela alăturată.

x_1 \ x_2	0	1
0	0	0
1	0	1

Deci, dacă se consideră clasele de resturi „modulo 2", atunci produsul aritmetic modelează operatorul ȘI. Se constată imediat că adunarea cu o unitate corespunde operatorului NU :

$$x + 1 = x'.$$

În modul acesta s-a creat un model aritmetic pentru conjuncție și negație.

5. Un deosebit interes practic prezintă însă modelarea electrică și electronică a operatorilor booleeni. Importanța acestui sistem de modelare constă în faptul că în calculatoarele elec-

Scanned with OKEN Scanner

tronice, așa cum se va arăta mai departe, se utilizează circuite care modelează diferiți operatori booleeni.

Fie astfel un tub electronic montat ca în fig. 3.7, *a*. Dacă pe grilă se aplică un semnal pozitiv, atunci tubul conduce, iar prin rezistența de sarcină trece un curent important și tensiunea

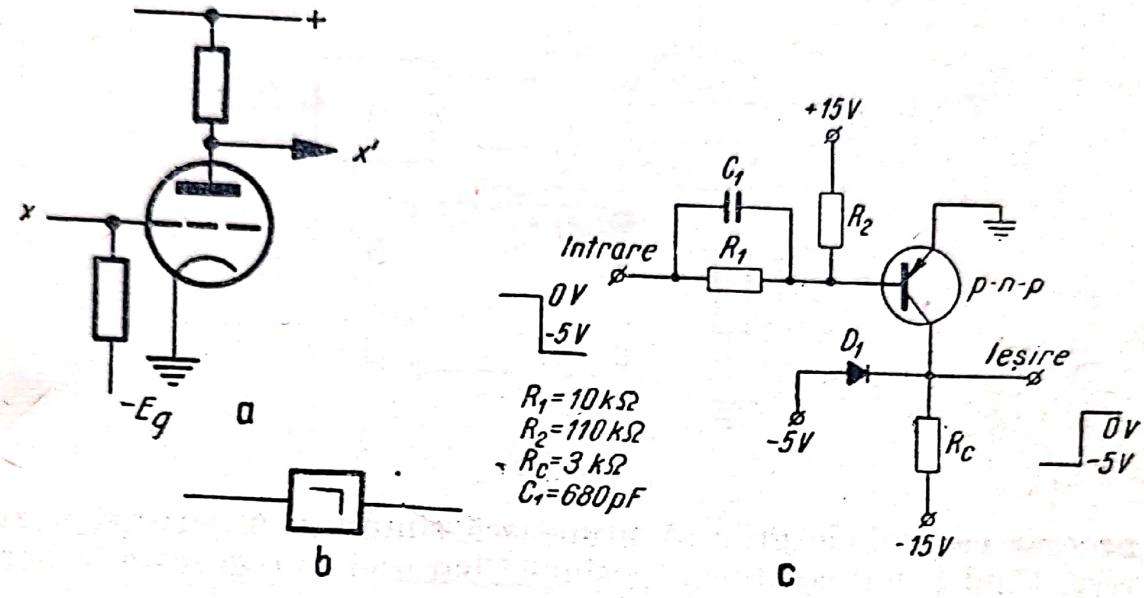


Fig. 3.7

anodică scade foarte mult, ajungînd la un potențial apropiat de cel al masei.

Într-o tratare simplificată, dar apropiată de realitate, se poate considera, că, pentru semnale de comandă destul de puternice, tubul electronic funcționează ca un întrerupător. Atunci cînd grila este negativată puternic, tubul se comportă ca o întrerupere, deci ca un întrerupător deschis. Dimpotrivă, atunci cînd grila este pozitivată puternic, tubul se comportă ca un scurt-circuit, deci ca un contact închis.

În modul acesta, dacă la intrarea triodei, adică pe grilă, se aplică impulsuri pozitive, tubul fiind în mod normal puternic negativat, se obține o funcționare în care, în absența semnalului de comandă, tubul se comportă ca un contact deschis, iar în prezența impulsului de comandă, ca un contact închis.

Vom nota prin 0 starea în care în punctul considerat există un potențial electric înalt, și prin 1, starea în care potențialul este scăzut.

Se constată imediat că atunci cînd tubul este în starea de conducere, potențialul anodic este scăzut — căzînd tensiune pe rezistența de sarcină — deci starea 1 a impulsului de intrare corespunde cu starea 0 a semnalului de ieșire, și invers. Deci acest montaj modelează operatorul NU (fig. 3.7, *b*).

tronice, aşa cum se va arăta mai departe, se utilizează circuite care modelează diferiţi operatori booleeni.

Fie astfel un tub electronic montat ca în fig. 3.7, *a*. Dacă pe grilă se aplică un semnal pozitiv, atunci tubul conduce, iar prin rezistenţa de sarcină trece un curent important şi tensiunea

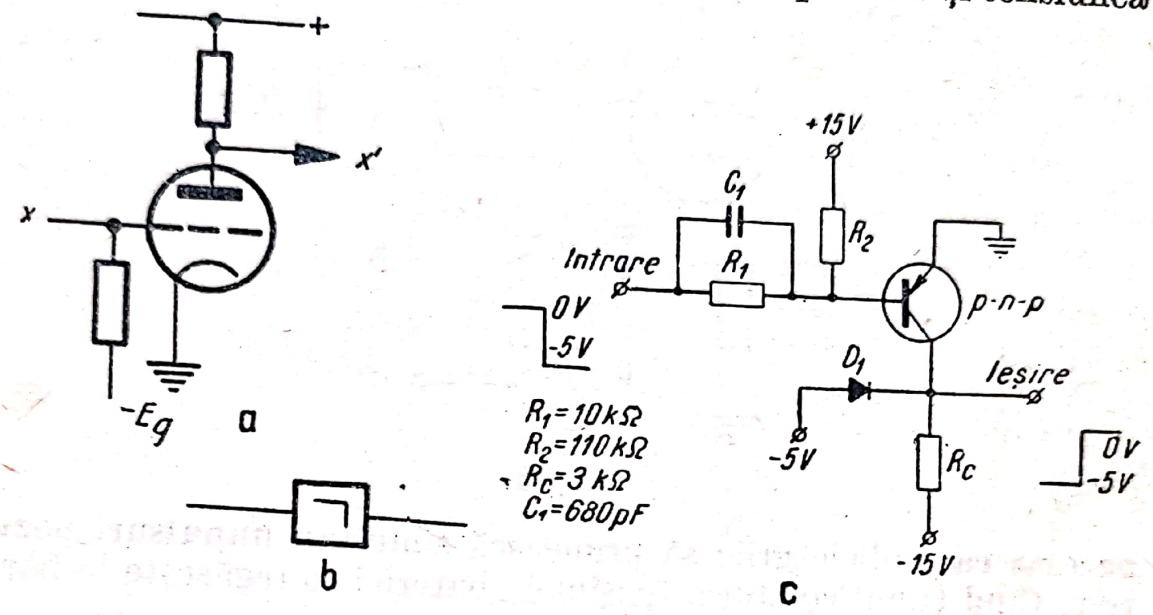


Fig. 3.7

anodică scade foarte mult, ajungînd la un potenţial apropiat de cel al masei.

Într-o tratare simplificată, dar apropiată de realitate, se poate considera, că, pentru semnale de comandă destul de puternice, tubul electronic funcţionează ca un întrerupător. Atunci cînd grila este negativată puternic, tubul se comportă ca o întrerupere, deci ca un întrerupător deschis. Dimpotrivă, atunci cînd grila este pozitivată puternic, tubul se comportă ca un scurt-circuit, deci ca un contact închis.

În modul acesta, dacă la intrarea triodei, adică pe grilă, se aplică impulsuri pozitive, tubul fiind în mod normal puternic negativat, se obţine o funcţionare în care, în absenţa semnalului de comandă, tubul se comportă ca un contact deschis, iar în prezenţa impulsului de comandă, ca un contact închis.

Vom nota prin 0 starea în care în punctul considerat există un potenţial electric înalt, şi prin 1, starea în care potenţialul este scăzut.

Se constată imediat că atunci cînd tubul este în starea de conducere, potenţialul anodic este scăzut — căzînd tensiune pe rezistenţa de sarcină — deci starea 1 a impulsului de intrare corespunde cu starea 0 a semnalului de ieşire, şi invers. Deci acest montaj modelează operatorul NU (fig. 3.7, *b*).

Același operator poate fi modelat cu un tranzistor care să funcționeze în montajul redat în fig. 3.7, *c*.

În cazul în care se trece la un tub care are două grile de comandă, ca în fig. 3.8, *a*, atunci pentru ca tubul să conducă este

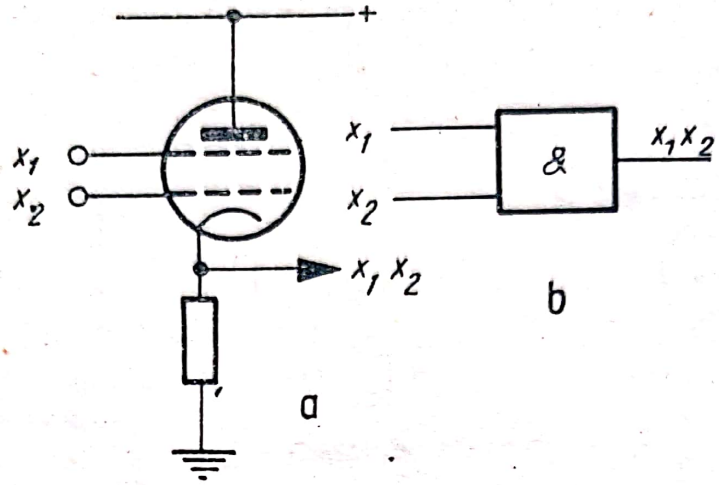


Fig. 3.8

necesar ca ambele grile să primească simultan impulsuri pozitive. Cînd tubul conduce, tensiunea bateriei se regăsește la bor-

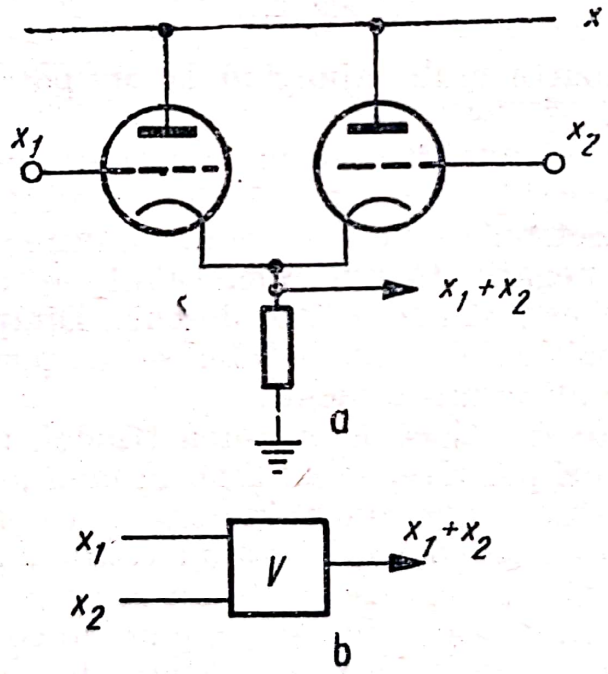


Fig. 3.9

nele rezistenței din catod. Acest dispozitiv modelează deci operatorul ȘI (fig. 3.8, *b*).

În cazul în care se trece la montajul din fig. 3.9, *a*, situația este echivalentă cu două contacte montate în paralel. Este sufi-

cient ca una din grile să primească un impuls, pentru ca la ieşire să se regăsească acest impuls. Sistemul modelează deci operatorul SAU (fig. 3.9, *b*).

6. În tehnica modernă a calculatoarelor electronice se utilizează din ce în ce mai mult elemente semiconductoare de circuit, pentru modelarea operatorilor booleeni.

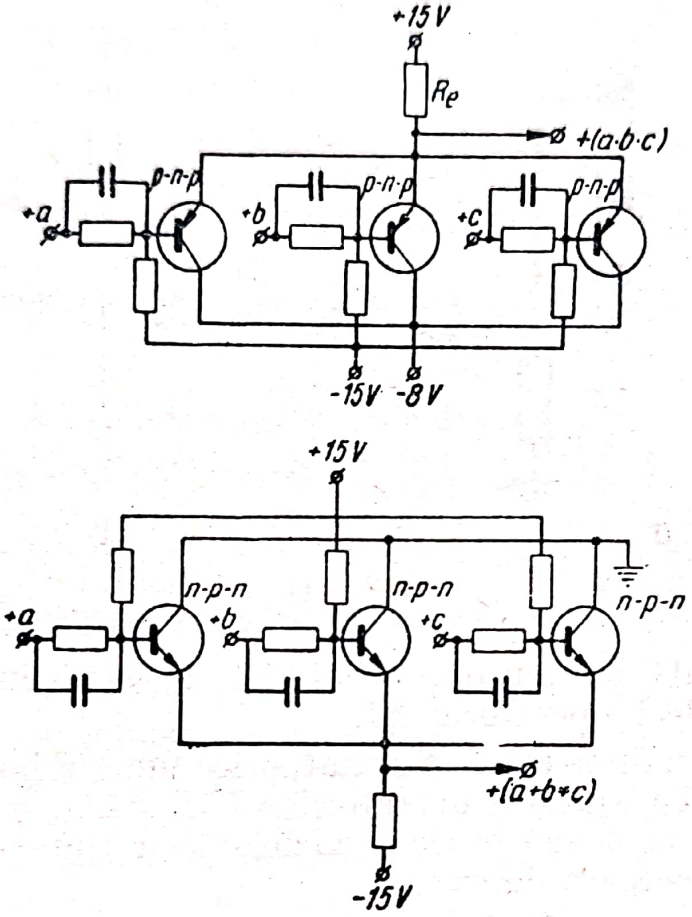


Fig. 3.10

Pentru modelarea operatorului NU, după cum s-a arătat, se utilizează un montaj cu un tranzistor, ca în fig. 3.7. *c*. Explicaţia funcţionării sale este analogă celei a montajului care utiliza un tub electronic.

Pentru modelarea operatorilor SAU şi ŞI se utilizează fie montaje cu tranzistoare, ca cele din fig. 3.10, fie montaje cu diode semiconductoare (fig. 3.11).

Fie, de exemplu, montajul din fig. 3.11, *a*. Este suficient ca la una din bornele de intrare să se aplice un impuls pozitiv, pentru ca acesta să treacă prin dioda respectivă şi să ajungă la bornele de ieşire; circuitul modelează un operator SAU.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul montajului din fig. 3.11, *b*, dacă la una din intrări nu se aplică un semnal pozitiv, atunci dioda respectivă conduce, deci prin ea — şi prin rezistenţa R montată în serie cu ea — va trece un curent puternic, astfel încît tensiunea de la ieşire va fi coborîtă.

În cazul în care la toate intrările se aplică impulsuri pozitive, toate diodele sînt blocate şi atunci la ieşire se obţine o

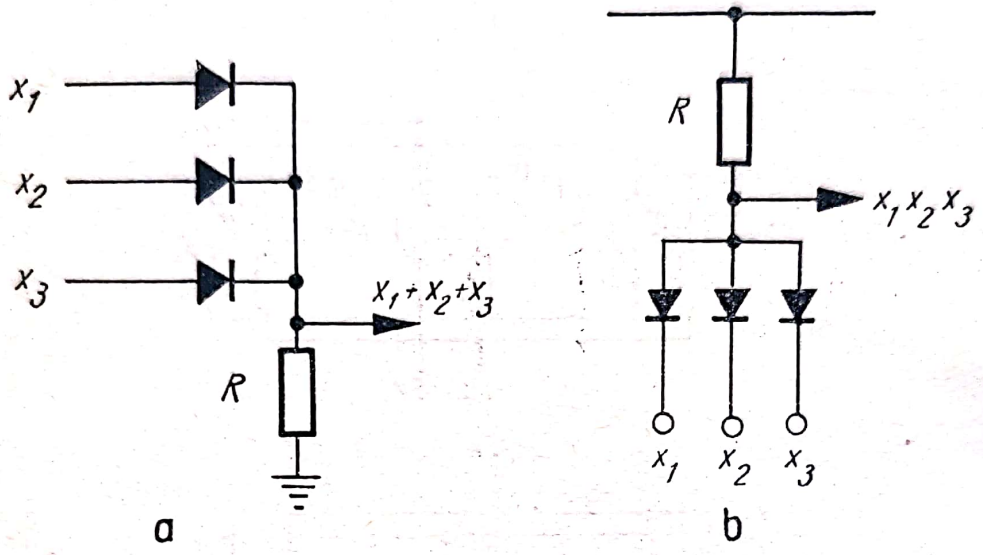


Fig. 3.11

tensiune egală cu tensiunea bateriei de modelare. Montajul modelează deci operatorul ŞI.

Deoarece, după cum s-a arătat, orice funcţie booleană poate fi modelată cu ajutorul operatorilor NU, SAU, ŞI, rezultă că orice funcţie booleană poate fi modelată cu ajutorul circuitelor cu semiconductoare descrise.

7. În afara modelelor prezentate pînă aici, se pot da şi modele logice ale calculului boolean. Mai mult, chiar, este necesar să arătăm că acest calcul a fost creat plecîndu-se tocmai de la logică.

Fie astfel P totalitatea propoziţiilor dintr-o carte. O propoziţie $p \in P$ poate fi sau adevărată sau falsă. Este uzuală introducerea noţiunii de *valoare de adevăr*. O propoziţie adevărată are valoarea 1 şi o propoziţie falsă are valoarea 0. Să asociem fiecărei propoziţii o valoare logică: propoziţiile adevărate au valoarea logică 1, şi cele false au valoarea logică 0.

Să considerăm apoi propoziţia care rezultă din negarea propoziţiei p, fie ea p'. Este clar că dacă propoziţia p este adevărată, atunci propoziţia p' este falsă. Din punct de vedere lingvistic, trecerea de la propoziţia „plouă" la propoziţia con

Scanned with OKEN Scanner

trară ei din punct de vedere logic, adică la negarea ei, se face utilizînd operatorul NU, deoarece p' = „*nu* plouă".

Tocmai pentru acest motiv, operatorul $'$ se numeşte şi operator de negare.

Dar, se poate considera şi o expresie mai complexă, de forma „plouă şi este lumină". Această expresie este adevărată dacă şi numai dacă în acelaşi timp cele două propoziţii elementare „plouă" şi „este lumină" sînt ambele adevărate. Dacă cel puţin una din aceste propoziţii este falsă, atunci şi fraza „plouă şi este lumină" este falsă.

Să reţinem deci faptul că o frază în care doi termeni — p_1 şi p_2 — sînt legaţi prin conjuncţia „şi" duce la o tabelă de adevăr de forma alăturată.

p_1 \ p_2	0	1
0	0	0
1	0	1

Se observă imediat că această tabelă coincide cu tabela conjuncţiei booleene.

Se poate considera însă şi un alt fel de propoziţie, de tipul „plouă sau bate piatră". Această frază este adevărată dacă cel puţin una din propoziţii este adevărată.

Tabela următoare dă valoarea de adevăr a frazei

„p_1 sau p_2".

p_1 \ p_2	0	1
0	0	1
1	1	1

Se observă imediat că această tabelă coincide cu tabela de adevăr a disjuncţiei booleene. Tocmai de aceea, disjuncţia logică se mai numeşte şi operator SAU.

Iată deci cum o aceeaşi relaţie matematică poate fi modelată în moduri diferite : cu instalaţii de gaze, cu reţele cu contacte electrice, cu montaje cu tuburi (tranzistoare sau diode). Se pot crea şi modele aritmetice sau logice.

8. Astăzi, în practică, pentru modelarea unor fenomene de natură diferită, se utilizează, pe o scară tot mai mare sisteme electronice complexe. În general, în toate aceste cazuri este vorba despre o instalaţie electronică, la care tensiunea dintr-un punct variază în timp, după o lege care se exprimă prin anumite ecuaţii diferenţiale. Sistemul respectiv modelează atunci orice fenomen fizic care este descris printr-o ecuaţie matematică identică. Acest gen de modele se mai numesc şi *calculatoare*

Scanned with OKEN Scanner

analogice. Ele sînt de două mari categorii, şi anume : calculatoare analogice universale şi calculatoare analogice speciale.

Calculatoarele analogice universale sînt instalaţii mari, formate dintr-un număr mare de elemente identice, care, grupate convenabil, pot modela instalaţii şi fenomene complexe. La noi în ţară, calculatoarele MECAN, de la Institutul de energetică al Academiei R.P.R., fac parte din această categorie. Elementul de bază al acestui gen de calculatoare este amplificatorul electronic de curent continuu şi de cîştig foarte mare.

Din datele publicate reiese că există calculatoare analogice universale cu 650 de amplificatoare.

Calculatoarele analogice speciale sînt modele mai simple, destinate numai unei clase mai reduse de probleme. La noi în ţară, Institutul Politehnic din Bucureşti a colaborat cu Institutul de Cercetări Foraj-Extracţie (I.C.F.E.) din Cîmpina, pentru realizarea unui calculator special, destinat studierii fenomenelor legate de pompajul de mare adîncime.

Pentru a înţelege importanţa acestui model trebuie să ştim că azi majoritatea instalaţiilor de extragere a petrolului funcţionează prin pompaj. Pentru aceasta, prin gaura de sondă se introduce în zăcămîntul de petrol o pompă, acţionată cu o tijă de la suprafaţă (este vorba despre aşa-numita „garnitură de prăjini de pompaj"). La cursa descendentă, supapa pistonului se deschide şi pe prăjini nu apasă nimic. La cursa ascendentă însă supapa se închide şi asupra pistonului — deci şi asupra prăjinilor de pompare — apasă greutatea coloanei de lichid. Cum azi pompele se fixează la adîncimi mari — uneori peste 4 000 m — se înţelege uşor că efortul este foarte mare ; în instalaţie apar oscilaţii puternice.

Tratarea matematică a acestor fenomene se loveşte de dificultăţi foarte mari. Însă, cu ajutorul modelului, debitul pompei, precum şi eforturile din instalaţie se pot determina în cîteva minute.

9. La toate calculatoarele analogice, esenţial este faptul că o aceeaşi relaţie matematică poate fi interpretată ca reprezentînd diferite fenomene fizice.

De exemplu, relaţia

$$a = \frac{b}{c}$$

poate reprezenta relaţia dintre tensiune, curent şi rezistenţă, la un conductor electric (legea lui Ohm) (fig. 3.12, *a*) dacă se ia $a = i, b = u, c = R$.

Scanned with OKEN Scanner

Dar ea poate reprezenta și debitul a al unei instalații de filtrare (fig. 3.12, b), dacă b este înălțimea H a coloanei de apă,

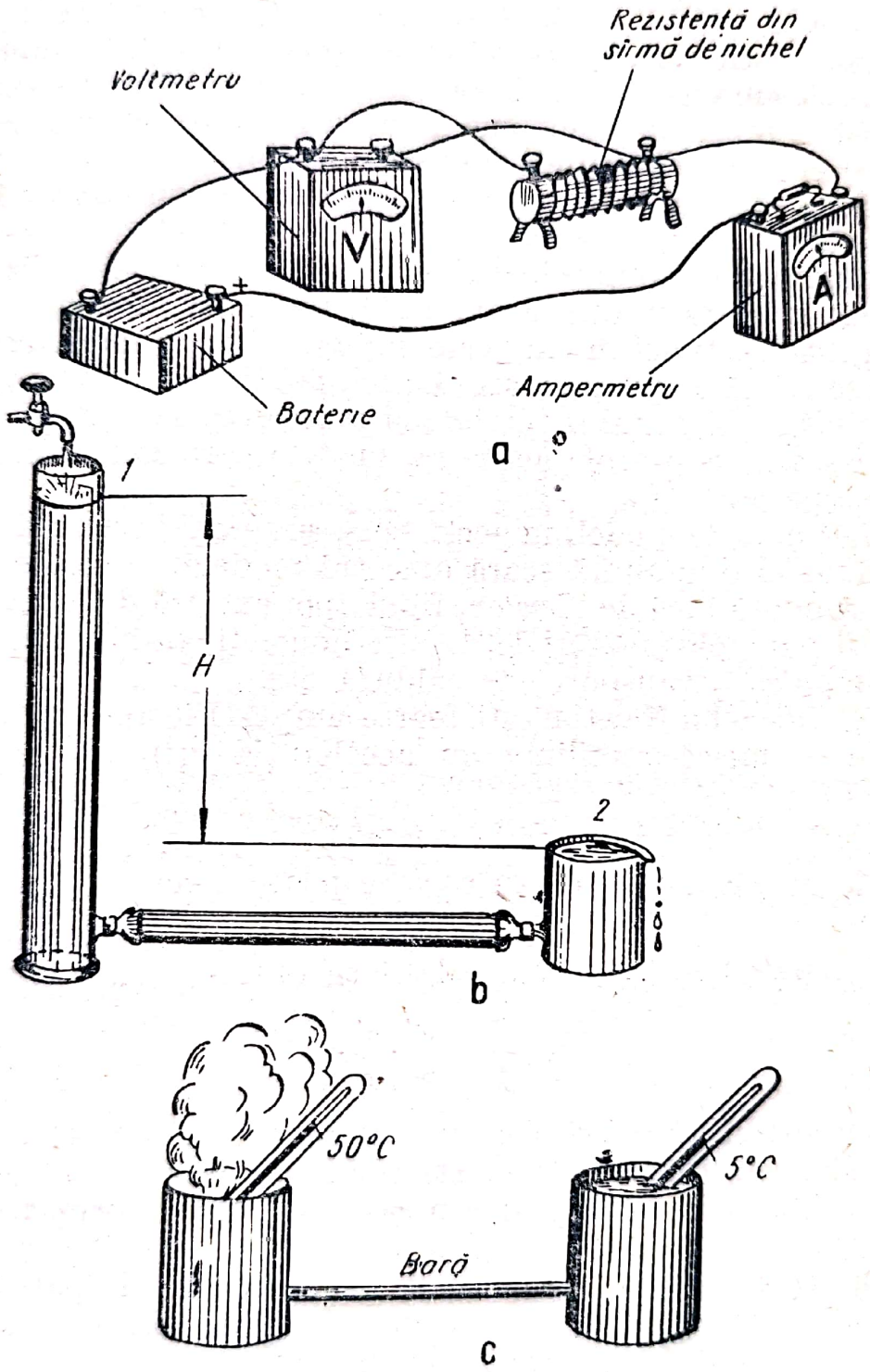


Fig. 3.12

iar c rezistența hidraulică a filtrului. Aceeași relație poate fi interpretată termic, considerînd pe a ca fiind fluxul de căldură

care trece printr-o secțiune a unei bare conductoare, între extremități existînd o diferență de temperatură $b = a_1 - a_2$, și bara avînd o „rezistență termică" c (fig. 3.12, c).

De aici rezultă posibilitatea de a studia electric sau hidraulic fenomenele termice sau electric, fenomenele hidraulice etc.

După cum arată V. I. Lenin în „Materialism și empiriocriticism", faptul că fenomene de naturi diferite se exprimă prin aceleași ecuații corespunde unității naturii. *)

10. Astăzi, însă, în știință și tehnică se utilizează adeseori modele uneori și într-un sens parțial diferit de cel expus anterior. Astfel, pentru studiul avioanelor de mare viteză se realizează o machetă la scară redusă a avionului respectiv; macheta se încearcă într-un tunel în care este supusă acțiunii unui curent de aer ce se mișcă cu viteză mare. La fel, pentru a se studia profilul hidrodinamic al navelor fluviale și maritime, se recurge la modele la scară redusă ale acestora, modele care sînt încercate în bazine speciale.

Noțiunea de model, în acest sens, se referă la un obiect care reproduce la o anumită scară obiectul modelat. Această idee a fost formulată încă de *Newton*, fiind apoi extinsă de la domeniul mișcării punctelor materiale, la alte domenii, ca hidrodinamică, aerodinamică, transport de căldură etc.

11. Ideea lui Newton este foarte simplă. Fie un corp de masă m care se mișcă rectiliniu cu accelerația $a(t)$, sub acțiunea forței $f(t)$:

$$f(t) = m\ a(t).$$

Fie un alt corp, pentru care se poate scrie

$$f' = m'a'.$$

Împărțind aceste două relații se obține

$$\frac{f'}{f} = \frac{m'}{m} \cdot \frac{a'}{a}.$$

Cunoscînd raportul forțelor și pe cel al maselor, rezultă raportul accelerațiilor. Deci studiind o mișcare, se pot trage imediat concluzii pentru alte mișcări ale unor corpuri diferite ca masă.

12. Dezvoltarea actuală a ciberneticii și pătrunderea continuă a matematicii în cele mai diferite științe au făcut ca modelele să capete o largă aplicare.

Valoarea modelării în cazul unei nave constă în faptul că ecuațiile hidrodinamicii, aplicate la mișcarea navei, pot fi stu-

*) V. I. Lenin, Opere complete, Ed. Politică, București, 1963, p. 302.

Scanned with OKEN Scanner

diate numai cu dificultăţi foarte mari, dacă se recurge la metodele analizei clasice. În modelare se recurge la un experiment, în care mărimile care interesează sînt cunoscute pe baza unor măsurări care se fac cu uşurinţă.

13. Esenţial pentru utilizarea modelelor este condiţia ca atît în model, cît şi în fenomenul studiat, să fie valabile aceleaşi ecuaţii.

Se înţelege cu uşurinţă că ecuaţiile matematice nu se referă în mod obligatoriu la un anumit fenomen sau proces fizic, deoarece matematica are un grad înalt de abstractizare şi — după cum s-a arătat — mărimile ei pot avea diferiţi corespondenţi în realitate.

În natură există clase de fenomene din domenii diferite, fenomene care sînt descrise prin ecuaţii identice din punct de vedere matematic. Astfel, de exemplu, micile oscilaţii ale unui pendul, oscilaţiile electrice într-un circuit format dintr-o bobină şi o capacitate, micile oscilaţii ale unei greutăţi dispusă la extremitatea unui resort vertical, sînt descrise prin aceeaşi ecuaţie matematică.

Rezultă de aici posibilitatea de a se deduce evoluţia unui fenomen, studiindu-se un alt fenomen fizic, mai uşor accesibil experienţei, dar care este descris printr-o ecuaţie identică din punct de vedere matematic.

Avînd în vedere faptul că fenomenele electrice sînt astăzi uşor accesibile experimentării, rezultă posibilitatea ca realizîndu-se anumite dispozitive electrice, din modul în care evoluează starea lor electrică, să se deducă evoluţia unor dispozitive mecanice.

14. În încheiere, cîteva cuvinte despre schemele cu contacte.

Ideea aplicării calculului boolean la schemele cu contacte electrice a fost formulată în anul 1938, simultan de savantul sovietic *V. I. Şestakov* şi de savantul american *Cl. Shannon*, care au lucrat independent unul de celălalt.

La noi în ţară, problemele schemelor cu contacte au fost studiate în special de acad. *Gr. C. Moisil*, a cărui lucrare „Teoria algebrică a mecanismelor automate" a fost tradusă în limbile rusă şi engleză.

După cum am arătat, ca număr de publicaţii în acest domeniu, ţara noastră se situează pe locul al treilea pe plan mondial, imediat după S.U.A. şi U.R.S.S.

Scanned with OKEN Scanner

Aplicarea calculului logic în probleme de scheme electrice se poate face în mai multe moduri. Astfel, se disting două mari categorii de probleme, şi anume : analiza şi sinteza schemelor. În problemele de analiză se pleacă de la o schemă dată şi se determină proprietăţile ei. În probleme de sinteză se cere schema care îndeplineşte anumite condiţii specificate.

În ultimul timp, acad. *Gr. C. Moisil* şi colaboratorii săi au elaborat metode cu ajutorul cărora pot fi studiate scheme la care, în afara contactelor, intervin şi relee, tuburi electronice, tranzistori etc., publicînd prima carte din lume dedicată exclusiv problemei schemelor cu tranzistori, lucrînd în regim de întrerupător sau — cum se numeşte în termeni tehnici — în *regim de comutaţie*.

4. CALCULATOARE DIGITALE

1. În etapa actuală de dezvoltare a ştiinţei şi tehnicii, un rol deosebit de important în prelucrarea informaţiei revine şi calculatoarelor digitale (aşa se numesc maşinile care prezintă informaţie sub formă digitală).

În esenţă, este vorba despre un dispozitiv căruia la intrare i se aplică o succesiune de semnale într-un alfabet finit care produce la ieşire o altă succesiune de simboluri, de asemenea într-un alfabet finit. De obicei este vorba despre „alfabete numerice" (0, 1, ..., 9) sau „alfanumerice" (0, 1, ..., 9, *a*, *b*, ..., *z*).

Suportul informaţiei este constituit din succesiuni de impulsuri standardizate (care au toate aceleaşi proprietăţi) şi pot fi puse în legătură cu succesiuni de cifre binare, notate uzual 0 şi 1.

În general, calculatoarele digitale efectuează operaţii de diferite categorii, care pot fi grupate în mai multe clase :

1) clasarea informaţiilor pe grupuri pentru a se putea obţine informaţii omogene, referitoare numai la anumiţi indici ; de exemplu din totalitatea bonurilor de la o magazie, se reţine numai informaţia privitoare la un anumit material ;

2) combinarea informaţiilor pentru a obţine corespondenţe între grupuri (frecvenţe, corelaţii etc.) ;

Scanned with OKEN Scanner

3) efectuări de comparări şi, plecînd de aici, determinarea asemănărilor sau diferenţelor dintre stocurile de informaţii;

4) efectuarea unor calcule numerice asupra datelor cuprinse în informaţie, sau efectuarea unor succesiuni de calcule aritmetice în vederea aproximării unor operaţii nearitmetice (calculul funcţiilor sin x, exp x etc.);

5) regruparea informaţiei în ansambluri de date;

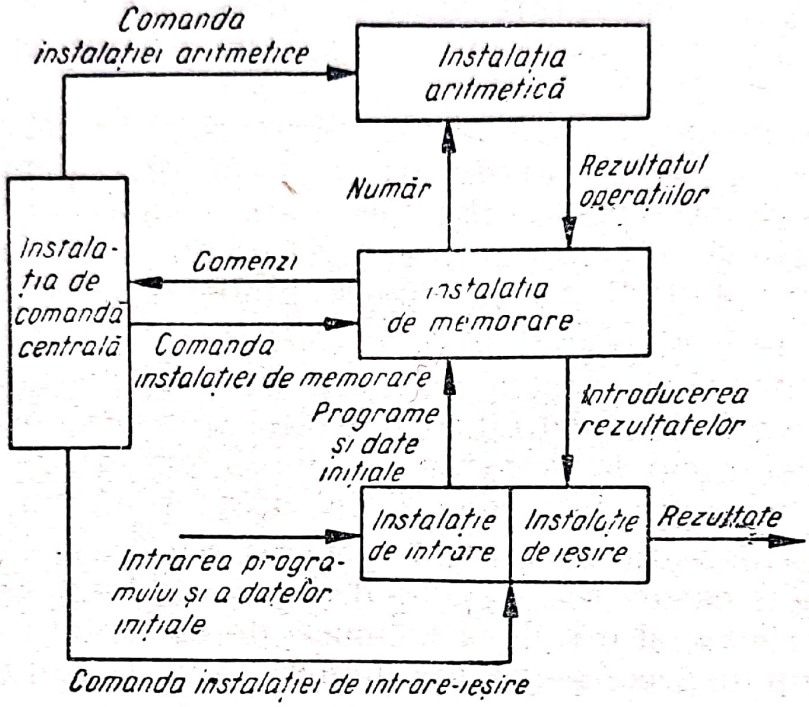


Fig. 4.1

6) producerea unor şiruri de numere întîmplătoare, necesare în diferite scopuri.

2. Calculatoarele sînt constituite din organe diferenţiate, care au funcţii specializate, cu ajutorul cărora se pot efectua operaţiile enumerate.

Schema de principiu a unui calculator se redă în fig. 4.1.

Printre elementele constitutive ale calculatoarelor digitale se menţionează următoarele:

1) o *memorie* (de capacitate suficientă) pentru reţinerea datelor iniţiale şi a programului de lucru;

2) o *unitate aritmetică* de calcul rapid pentru executarea calculelor aritmetice;

3) o *unitate logică* care efectuează calcule logice şi ia astfel decizii privind procesele de tratare a informaţiei;

4) o *unitate de control* central care asigură coordonarea desfăşurării operaţiilor. Această unitate centrală este în legă-

Scanned with OKEN Scanner

tură cu celelalte organe ale mașinii și distribuie informația sub forma unor impulsuri electrice.

Aceste succesiuni de impulsuri pot fi reprezentate prin litere și prin cifre — așa-numitul *limbaj al mașinii* — deoarece acesta este un limbaj mai comod pentru personalul uman care lucrează cu mașina.

Pentru prelucrarea datelor inițiale, mașina este prevăzută cu un *program*, constituit dintr-un ansamblu de *instrucțiuni* exprimate în limbajul mașinii, care sînt stocate în memoria calculatorului. Rezultă că în prelucrarea informației intervin două tipuri de date : datele asupra cărora se operează și instrucțiunile privind regulile după care se efectuează calculele.

Unitatea de control central preia din memorie ambele categorii de date și asigură interpretarea corectă a instrucțiunilor.

Trecerea de la limbajul uman la limbajul mașinii și invers se asigură prin *unitățile de intrare* și *de ieșire* ale calculatorului.

3. Caracteristic pentru memoria unui calculator este așa-numitul *timp de acces*, definit ca fiind intervalul de timp care trece de cînd se dă comanda de extragere a unei informații din memorie și pînă în momentul în care se obține această informație.

La calculatoare se disting, în general, două tipuri de memorie : de mare capacitate, cu timp de acces mai lung, așa-numita *memorie externă*, și o a doua memorie de capacitate mai mică dar cu timp de acces redus, așa-numita *memorie operativă*.

În general, memoria operativă se realizează cu ajutorul unor dispozitive electronice cu funcționare rapidă. Memoria externă se realizează sub forma unui tambur magnetic conectat la calculator.

Dispozitivele de memorie îndeplinesc patru funcții fundamentale : înregistrează informația, o păstrează, o restituie, pierd informația pentru a înregistra alta.

În general, dispozitivele de memorie au în mod obligatoriu toate aceste proprietăți, deși ultima, în unele cazuri, poate să lipsească.

De obicei, dispozitivele de memorie sînt prevăzute cu posibilitatea de a fi împărțite în celule numerotate, numite *adrese* ; în modul acesta există posibilitatea de a se extrage din memorie numai informația dispusă la o anumită adresă, cu alte cuvinte, memoria este „*adresabilă*“.

Memoria calculatorului se realizează sub forma unui tambur metalic, pe care se află dispusă o peliculă magnetică. La dispozitivele moderne, timpul de acces al acestei memorii este de ordinul a 10 milisecunde), în timp ce la memoriile rapide

Scanned with OKEN Scanner

operative, timpul de acces este de ordinul a 10 μs (microsecunde).

4. Unitatea de calcul aritmetic efectuează operații algebrice asupra numerelor care sînt dispuse în memoria rapidă. În mod normal ea cuprinde mai multe elemente fundamentale, printre care : un sumator, un comparator, un dispozitiv de numărare care permite executarea operațiilor recurente sub forma unor serii de adunări sau de scăderi, un operator de semn care determină semnul rezultatului operațiilor algebrice.

La unele calculatoare se disting de asemenea dispozitive de schimbare a rangului unităților, ceea ce permite trecerea de la un ordin zecimal la un ordin superior, atunci cînd calculatorul este programat pentru a lucra cu numere în sistem zecimal.

Uneori calculatorul este prevăzut și cu registre care conțin adresele mărimilor ce intervin în calcule și care intră în funcțiune atunci cînd unitatea aritmetică funcționează în mod autonom, fără intervenția dispozitivului de control central.

5. Unitatea de calcul logic face în primul rînd operația de comparație. În esență ea este capabilă să efectueze operațiile de intersecție și de reuniune logică. Această unitate are un rol important în desfășurarea programului, deoarece în funcție de rezultatele obținute prin aceste comparații, calculul se poate desfășura în moduri diferite.

După cum s-a arătat, *programul* este un ansamblu de reguli stocate în memoria calculatorului. Rezolvarea fiecărei probleme necesită redactarea unui program, care este constituit prin lista operațiilor elementare pe care trebuie să le execute calculatorul pentru a rezolva problema respectivă.

Evident că pentru a se putea scrie programul unei probleme, este necesar să se stabilească în primul rînd succesiunea de operații care trebuie executate și, de asemenea, este necesar să se cunoască toate operațiile pe care le poate executa mașina. Se menționează că nu toate calculatoarele electronice existente în prezent au aceleași posibilități.

Deoarece în desfășurarea programelor intervin adeseori anumite părți comune, se constituie așa-numitele *subprograme standard*, care se intercalează uneori în programul principal.

Problema va fi reluată în paragraful următor. Se menționează, că instrucțiunile trebuie să ajungă în partea de control central sub forma unor mesaje în limba mașinii, fiecare operație fiind notată printr-o anumită succesiune de impulsuri denumită *cod*. De exemplu, 03 poate reprezenta adunarea, 05 înmulțirea etc.

Scanned with OKEN Scanner

6. Unitatea de calcul logic lucrează în strînsă legătură cu unitatea de *control central* care este constituită în esență din următoarele părți :

1) un registru de instrucțiuni care primește pe rînd instrucțiunile în ordinea în care ele trebuie executate ;

2) un ansamblu de circuite care servesc la interpretarea codurilor operațiilor ;

3) un registru de adrese, în care se reține adresele mărimilor care intervin într-o anumită etapă a calculului ;

4) un registru care conține numărul instrucțiunii în curs de executare și care face să se schimbe acest număr al instrucțiunii în funcție de desfășurarea programului.

7. Calculatoarele digitale actuale se caracterizează prin faptul că au o funcționare complet automată, în sensul că, plecînd de la datele inițiale, toate operațiile se desfășoară complet automat, pe baza programului.

Fără a fi ceva esențial, trebuie arătat că mai toate calculatoarele digitale actuale lucrează în sistemul binar, în care numerele sînt scrise numai cu două cifre — notate de obicei 0 și 1.

În acest sistem de scriere a numerelor, orice număr N este pus sub forma

$$N = \sum_{k=-\infty}^{M} a_k \, 2^k,$$

unde M este un număr întreg care depinde de N și de baza 2. Numerele se reprezintă prin succesiunea coeficienților a_k, deci se scrie

$$N = a_M \, a_{M-1} \ldots a_1 \; a_0, a_{-1}, a_{-2} \ldots a_{-N}$$

unde a_j $(-N \leqslant j \leqslant M)$ are una din cele două valori posibile : 0 sau 1.

Evident, pentru scrierea numerelor se poate utiliza orice bază b, punînd

$$N = \sum_{k=-\infty}^{M} a'_k \, b^k$$

unde $M = M(N, b)$.

Scanned with OKEN Scanner

În următoarea tabelă se dă transcrierea unor numere în diferite baze.

Scrierea numerelor în diferite baze

Baza				
10	2	3	8	12
1	1	1	1	1
2	10	2	2	2
3	11	10	3	3
4	100	11	4	4
5	101	12	5	5
6	110	20	6	6
7	111	21	7	7
8	1 000	22	10	8
9	1 001	100	11	9
10	1 010	101	12	*m*
11	1 011	102	13	*n*
12	1 100	110	14	10
13	1 101	111	15	11
14	1 110	112	16	12
15	1 111	120	17	13
16	10 000	121	20	14
17	10 001	122	21	15

Sistemul binar este deosebit de comod în efectuarea calculelor, deoarece regulile fundamentale de adunare și înmulțire sînt foarte puține la număr, după cum rezultă din tabelele alăturate :

+	0	1
0	0	1
1	1	10

·	0	1
0	0	0
1	0	1

Iată un exemplu de adunare :

$$\begin{array}{r} 110110 + \\ 010110 \\ \hline 1001100 \end{array}$$

Un exemplu de scădere :

$$\begin{array}{r} 1100101{,}101 - \\ 10101{,}111 \\ \hline 1001111{,}110 \end{array}$$

Scanned with OKEN Scanner

Înmulţirea se reduce la o succesiune de adunări :

$$
\begin{array}{r}
110101 \times \\
101101 \\
\hline
110101 \\
110101 \\
110101 \\
110101 \\
\hline
100101010001
\end{array}
$$

şi împărţirea la o succesiune de scăderi :

$$
\begin{array}{r|l}
0{,}1001010 & 0{,}110101 \\
110101 & \hline
\cline{1-1} & 0{,}101100 \\
0010101 & \\
110101 & \\
\hline
\text{rest negativ} & \\
\hline
101010 & \\
110101 & \\
\hline
0011111 & \\
110101 & \\
\hline
001001 & \\
110101 & \\
\hline
\text{rest negativ} & \\
\hline
010010 & \\
110101 & \\
\hline
\text{rest negativ} & \\
\hline
100100 &
\end{array}
$$

Se observă că atunci cînd, la un moment dat, în efectuarea scăderii se obţine un rest negativ, se pune 0 la cît şi se deplasează împărţitorul cu un rang spre dreapta.

8. Calculatoarele digitale se pot clasifica după diferite criterii. Se disting calculatoare paralel şi calculatoare serie.

În calculatoarele paralel există cîte un dispozitiv pentru fiecare ordin al numărului binar care reprezintă la un moment dat informaţia. În modul acesta, operaţiile asupra numerelor se efectuează practic simultan la toate ordinele de mărime ale numărului.

La calculatoarele serie succesiunile de impulsuri care reprezintă numerele sosesc pe rînd la un acelaşi element, în

Scanned with OKEN Scanner

ordinea rangului pe care impulsul îl ocupă în reprezentarea numărului. De exemplu, întîi sosesc impulsurile corespunzînd unităților, apoi cele corespunzînd ordinului de mărime imediat superior etc.

Dintr-un alt punct de vedere, calculatoarele se clasifică în *calculatoare cu virgulă fixă* și *calculatoare cu virgulă mobilă.*

Într-un calculator cu virgulă fixă, toate numerele sînt de aceeași lungime și sînt de forma

$$sa_0, a_{-1}, \ldots, a_{-R}.$$

unde s este „*cifra semn*“ care indică semnul algebric al numărului considerat, și R este fix.

În acest sistem de scriere, numerele de rang mai mic decît $-R$ sînt considerate nule.

În cazul unei virgule mobile și al unei capacități de 12 poziții zecimale, de asemenea una dintre poziții reprezintă semnul, nouă poziții conțin cifrele semnificative, și două conțin exponentul. Exponenții negativi sînt reprezentați prin numere de la 0 pînă la 50, și, exponenții pozitivi prin numere de la 50 pînă la 100. Celelalte nouă poziții conțin cele nouă cifre semnificative sau *mantisa* numărului.

De exemplu, numărul 2 543,18 se scrie

025431800054

unde prima cifră reprezintă semnul algebric.

Cu alte cuvinte, se indică faptul că acest număr poate fi scris sub forma

$$+ 0{,}254318 \times 10^{(54-50)}.$$

La fel numărul

$$- 0{,}00392845689$$

se scrie

139284568948.

Codul 1 din prima poziție a celulei reprezintă semnul — al numărului respectiv, și ultimele două cifre (48) arată ordinul de mărime al numărului, care poate fi scris

$$0{,}392845689 \times 10^{(48-50)}.$$

9. Pentru o mai bună înțelegere a modului de funcționare a calculatoarelor digitale este bine să se cunoască unele date privind elementele lor constructive.

Scanned with OKEN Scanner

Calculatoarele digitale sînt dispozitive care prelucrează informația scrisă în sistem binar. Ele sînt constituite deci din elemente care pot fi realizate sub forma unor scheme booleene.

Elementul principal al unui calculator este deci un element care poate avea două stări ce pot fi reprezentate prin 0 și 1. Acesta este așa-numitul circuit basculant bistabil (CBB), a cărui reprezentare convențională se redă în fig. 4. 2, *a*. Acest

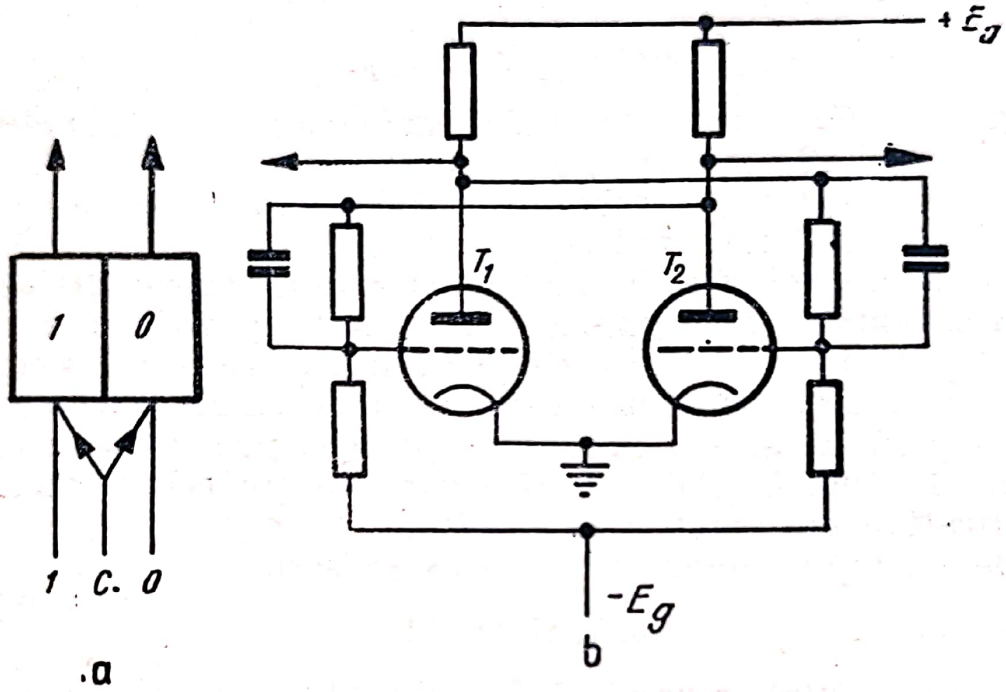


Fig. 4.2

sistem se caracterizează prin aceea că are numai două stări stabile, starea în care se află la un moment dat depinzînd de starea anterioară și de impulsul de comandă aplicat. Trecerea de la o stare stabilă la cealaltă stare stabilă se face într-un interval de timp foarte scurt, în comparație cu perioada dintre două impulsuri de comandă.

Se precizează că studiul logic al calculatoarelor digitale se poate face fără a se cunoaște modul fizic în care se realizează CBB care intră ca element fundamental în construcția sa. Se menționează că astfel de sisteme se pot realiza cu tuburi electronice, cu tranzistori, cu miezuri magnetice etc.

În cazul de față CBB are trei căi de intrare și două de ieșire.

Cele trei intrări au proprietăți diferite. Semnalele de intrare se prezintă sub forma unor impulsuri. Semnalele care se aplică la borna de intrare 1 au proprietatea de a aduce circui-

tul basculant în poziţia 1 ; cele aplicate la borna 0 îl aduc în starea 0.

Impulsurile aplicate la borna notată C au proprietatea de a face circuitul să treacă dintr-o stare în starea opusă ; astfel dacă circuitul se află în starea 1, sosirea primului impuls la borna C face ca circuitul să treacă în starea 0, al doilea în starea 1 şi aşa mai departe. În fig. 4.2, *b* este arătat schematic un CBB

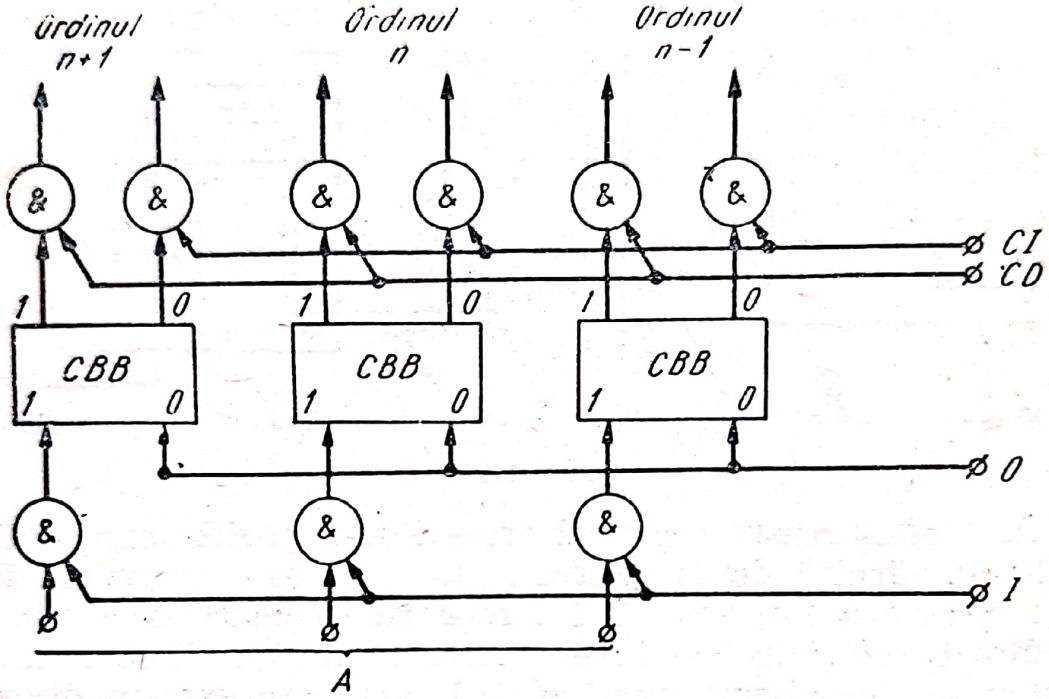


Fig. 4.3

realizat cu tuburi electronice. În esenţă, CBB este constituit din două tuburi principale, T_1 şi T_2 şi alte dispozitive anexe. Atunci cînd prin T_1 trece un curent important, şi prin T_2 nu trece curent anodic, se spune că CBB este în starea 1 ; atunci cînd T_2 conduce şi T_1 este blocat, CBB este în starea 0. Bornele de ieşire se conectează în acest caz la anozii lui T_1 şi T_2.

10. În constituirea calculatoarelor digitale intervin şi dispozitive de memorie. Se va descrie în primul rînd un registru al memoriei operative.

Registrul este un dispozitiv care înregistrează o succesiune de semnale necesare la o anumită etapă a calculului.

În fig. 4.3 se reprezintă schema-bloc a unui registru pentru trei ordine binare.

Înainte de intrarea în funcţiune a registrului, se aplică un semnal la borna notată 0, ceea ce aduce toate elementele registrului în poziţia 0.

Scanned with OKEN Scanner

La bornele *A* sînt aplicate impulsurile care reprezintă numărul ce trebuie înregistrat. Aplicîndu-se un impuls de comandă la borna *I*, circuitele de coincidență & (care sînt circuite ŞI) se deschid, şi impulsurile care reprezintă numărul de înregistrat se aplică la bornele *1* ale circuitelor basculante care formează registrul. Evident, acestea nu vor fi acţionate decît de acele circuite de coincidenţă la care la bornele *A* există un semnal *1*.

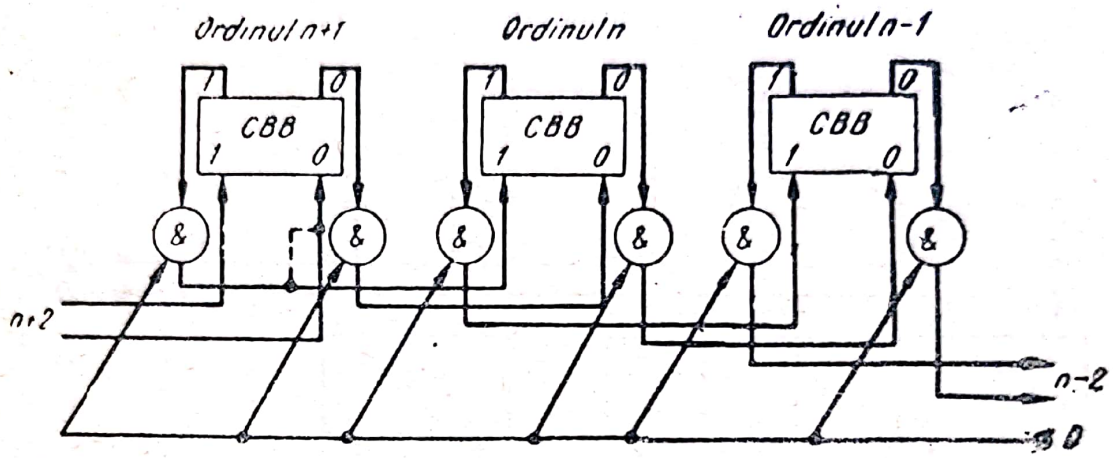


Fig. 4.4

În modul acesta registrul trece într-o poziţie care corespunde numărului de înregistrat.

Extragerea informaţiei din registru se poate face atît în cod direct, cît şi în cod invers. Aceasta înseamnă că dacă în registru s-a înregistrat numărul 101, se poate extrage din registru atît numărul 101, cît şi numărul 010, obţinut din primul prin transformările $1 \to 0$, $0 \to 1$. Cele două numere se obţin în permanenţă la cele două borne de ieşire.

Pentru extragerea informaţiei în cod direct se aplică un impuls la bornele *CD*. Pentru extragerea informaţiei în cod invers se aplică un impuls la borna *CI*.

11. În efectuarea calculelor este necesar să existe şi un element care să permită deplasarea numerelor cu un ordin. Aceasta intervine, de exemplu, în efectuarea înmulţirilor, care se reduc la efectuarea succesivă a unor adunări, în care unul din termeni se deplasează mereu cu cîte un ordin, în acelaşi sens. Schema-bloc a unui registru de deplasare se redă în fig. 4.4.

Este necesar ca prin aplicarea succesivă a unor impulsuri, numerele care reprezintă diferitele cifre de diferite ordine să sufere o translaţie spre dreapta.

Să admitem că în momentul iniţial, în registru era numărul 100.

Aplicîndu-se un impuls la borna *D*, se observă că primul circuit de coincidenţă al CBB de ordin $n + 1$ produce la ieşire

un impuls care se aplică la borna *1* a CBB corespunzînd ordinului *n*. În schimb, de la ordinul *n* nu se transferă nimic la ordinul $n-1$, şi nici de la acesta mai departe.

Principiul de funcţionare a registrului de deplasare este următorul:

Registrul este format din *N* dispozitive CBB. De la fiecare dispozitiv de acest fel pleacă două legături la cîte un circuit

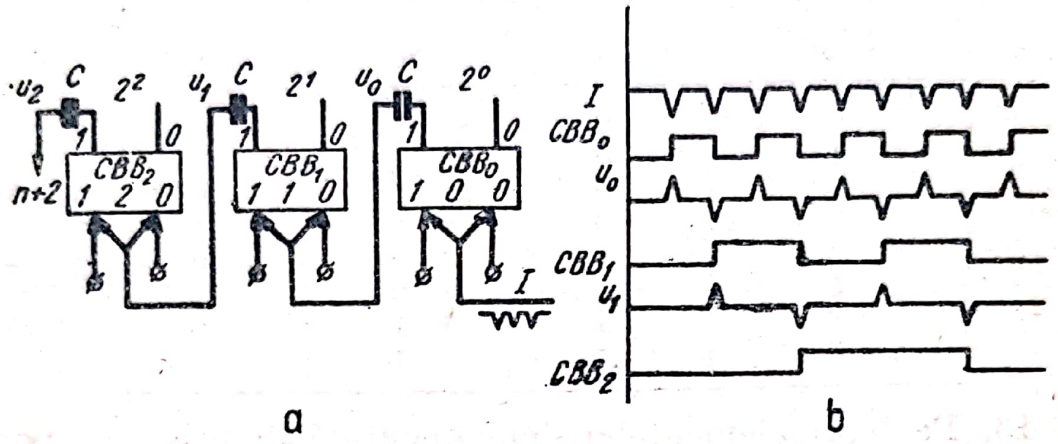


Fig. 4.5

ŞI, la care sosesc de asemenea impulsurile de comandă a deplasării. La ieşirea acestor circuite ŞI nu se va obţine un impuls decît dacă circuitul ŞI este conectat la o bornă a unui CBB care se află pe poziţia *1*. Deci, dacă un CBB corespunzînd ordinului de mărime *n* este pe poziţia *1*, impulsul de comandă care se transmite la CBB de ordinul $n-1$ îl va aduce pe acesta în poziţia *1*. Dacă însă CBB de ordinul *n* se afla pe poziţia 0, atunci, după impulsul de comandă, CBB de ordinul $n-1$ trece pe poziţia 0.

12. Un alt element de bază al calculatoarelor digitale este *contorul*. Un contor binar de *n* ordine este format din *n* CBB, conectate între ele, aşa cum se arată în fig. 4.5, *a*. În fig. 4.5, *b* se reprezintă diagrama evoluţiei în timp a elementelor sale componente.

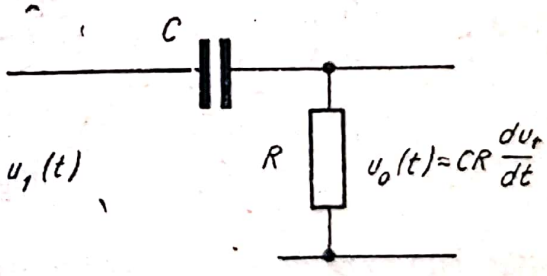


Fig. 4.6

Pentru fiecare impuls aplicat la intrare, primul CBB basculează între starea 1 şi starea 0.

Semnalele de la borna *1* de ieşire a fiecărui CBB se derivează în timp cu ajutorul unei reţele simple *CR* ca cel din fig. 4.6.

Deci impulsuri pozitive nu se vor obţine la borna 1 a unui CBB decît atunci cînd în acel punct tensiunea creşte, deci

atunci cînd elementul constituent respectiv al CBB trece de la poziția 0 la poziția 1.

Aceasta se întîmplă tot la două impulsuri aplicate la intrare.

Evoluția în timp a unui contor format din trei CBB se reprezintă în următoarea tabelă:

Numărul impulsurilor aplicate	Starea circuitelor		
	III	II	I
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

13. Pe baza elementelor fundamentale descrise, se poate înțelege funcționarea unui sumator. Se va considera în primul rînd un sumator paralel, la care există cîte un element identic pentru fiecare ordin al numerelor care trebuie adunate. Acest element se numește *semisumator*.

Semisumatorul (fig. 4.7, *a*) are trei intrări — notate *a*, *b*, *c* — și două ieșiri — notate *d* și *e*. La bornele *a* și *b* sosesc im-

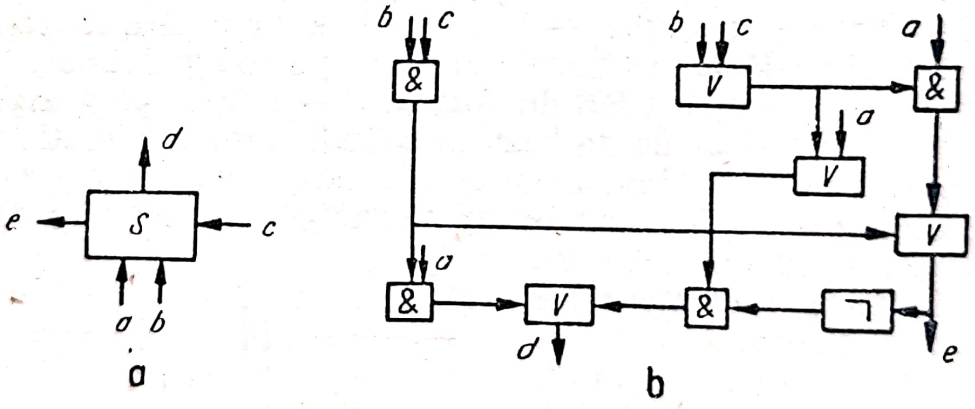


Fig. 4.7

pulsurile care corespund numerelor ce trebuie adunate. La borna *c* sosește eventualul impuls care corespunde cifrei transportate de la ordinul imediat inferior. Cifra de transport apare numai în cazul în care rezultatul adunării în semisumatorul de ordin imediat inferior este mai mare decît 1. În acest caz, la borna *c* apare un semnal 1.

La borna de ieşire d se obţine rezultatul adunării care este de acelaşi ordin cu numerele care se adună, şi la ieşirea e se obţine impulsul care eventual trebuie transportat la semisumatorul ordinului imediat superior.

Fiecare din semnalele de la bornele a, b, c, d, e poate fi reprezentat printr-un semnal binar. În fond, problema sintezei unui semisumator corespunde problemei sintezei a două circuite booleene, din care unul serveşte la obţinerea lui d şi unul la obţinerea lui e fiecare din aceste circuite depinzînd de trei variabile (a, b, c). În continuare se dă tabela cu ajutorul căreia se poate realiza sinteza respectivă :

a	b	c	d	e
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Pentru a sintetiza funcţiile d şi e se utilizează circuite standardizate care corespund operatorilor ŞI, SAU, NU. Se ţine seama de faptul că prin gruparea convenabilă a acestor operatori se pot realiza funcţiile d şi e. Formulele sînt următoarele :

$$d = abc + (a + b + c)\, e'$$

$$e = a\,(b + c) + bc.$$

În fig. 4.7, b se dă schema-bloc a unui semisumator, şi în fig. 4.8 se reprezintă un sumator paralel.

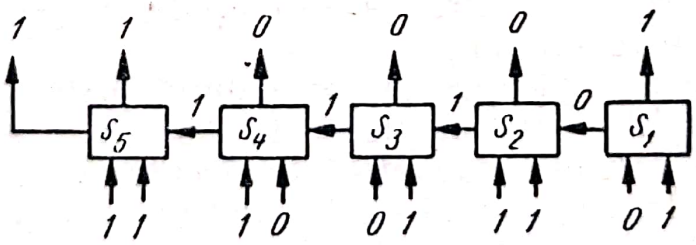


Fig. 4.8

14. În fig. 4.9 se reprezintă schema de principiu a unui sumator serie. La acest sumator sînt conectate două registre $R1$ şi $R2$ în care în prealabil se înregistrează numerele care tre-

buie adunate. Aceste numere sosesc simultan la dispozitivul de adunare, începînd cu cele mai mici ordine de mărime. Rezultatul d al adunării celor două numere de acelaşi ordin este înregistrat într-un alt registru $R3$. Cifra de transport se obţine la ieşirea e, de unde, după ce trece prin linia de întîrziere LI, soseşte la intrarea c a sumatorului.

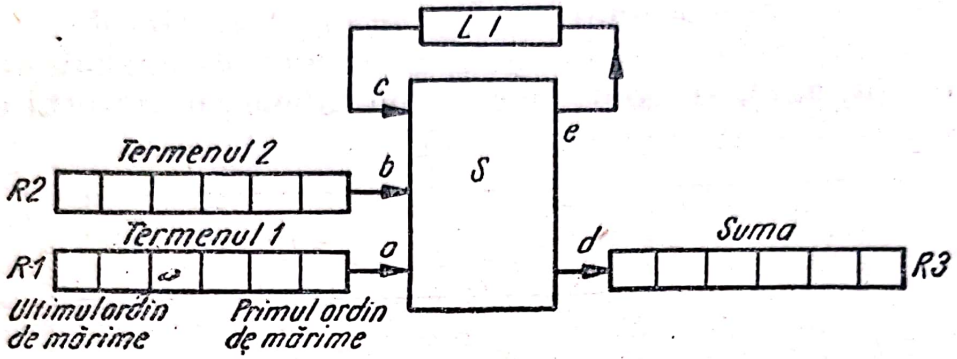


Fig. 4.9

Se trece apoi la adunarea numerelor din următorul ordin de mărime, numărul înregistrat în R3 suferind o translatare cu un ordin de mărime spre dreapta.

Se precizează că linia de întîrziere este un dispozitiv cu o intrare şi o ieşire, care se caracterizează prin aceea că semnalul de la ieşire are aceeaşi formă $f(t_2)$ ca şi semnalul de la intrare $f(t_1)$ dar $f_2 = f_1 - \tau$, unde τ este timpul de întîrziere a semnalelor pe linie.

15. Pentru înregistrarea numerelor pe o durată mai lungă, se poate recurge şi la dispozitive magnetice, cum ar fi benzile magnetice sau cilindrii magnetici.

Cilindrul magnetic (numit uzual *tambur*) este un cilindru metalic, pe care se află depusă o pojghiţă subţire de material magnetic. De-a lungul unei generatoare sînt dispuse mai multe capete de scriere şi de citire, care funcţionează pe acelaşi principiu ca şi la magnetofon.

Fiecare cap explorează o aşa-numită *pistă*. Atunci cînd înfăşurarea capului este parcursă de curent, el magnetizează porţiunea din pelicula magnetică în dreptul căreia se află în acel moment. Invers, atunci cînd cilindrul se mişcă, în bobina capului de citire se induce o tensiune electromotoare care depinde de starea de magnetizare a peliculei din dreptul regiunii în care se află în acel moment.

În ultimul timp s-au dezvoltat şi dispozitive magnetice de citire statică, în care nu se produce o deplasare mecanică a elementelor.

O astfel de memorie magnetică utilizează toruri magnetice, pe care sînt dispuse înfăşurări convenabile.

Materialul magnetic din care este confecţionat torul se caracterizează prin aceea că are o buclă de hysterezis dreptunghiulară, ca în fig. 4.10.

Starea de magnetizare se poate fixa fie în punctul A, fie în punctul A'. Rezultă că un astfel de sistem este adecvat pentru reprezentarea numerelor binare.

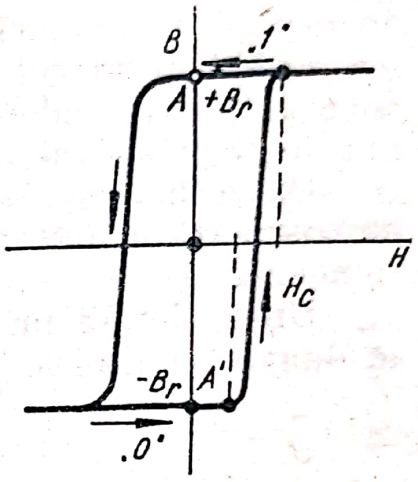


Fig. 4.10

16. O parte esenţială a calculatoarelor digitale este dispozitivul de conducere centrală. Schema simplificată a acestui dispozitiv se redă în fig. 4.11, unde este prezentat un calculator care lucrează în sistemul „cu trei adrese".

În acest sistem fiecare instrucţiune este constituită din patru elemente: codul operaţiei care se efectuează între numerele de la adresele $A1$ şi $A2$, numerele acestor adrese, ca şi numărul adresei $A3$ la care se depozitează rezultatul operaţiei.

În fig. 4.11 prin M s-a marcat dispozitivul de memorie Din memorie se preia ordinul care trebuie executat la un mo-

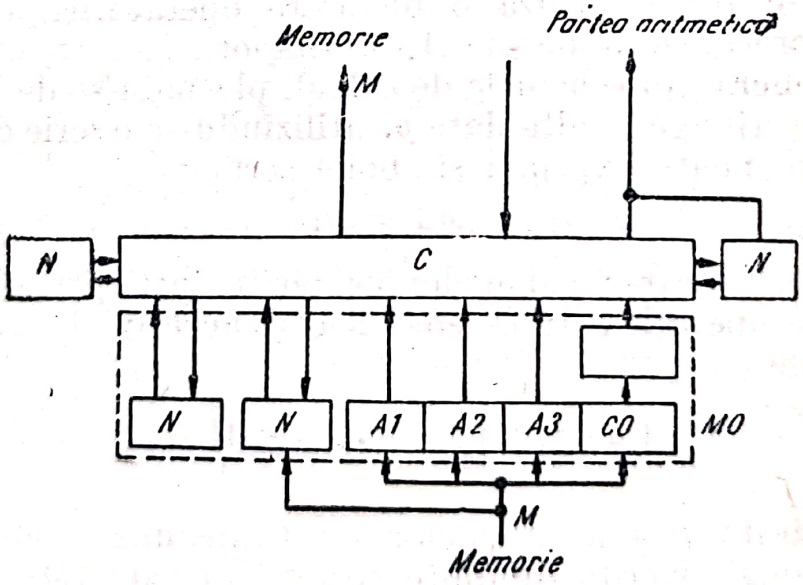


Fig. 4.11

ment dat, ordin care este constituit din cele trei adrese şi din codul operaţiei.

Îndeplinirea unui ordin poate fi despărţită în două etape: alegerea comenzii din M şi îndeplinirea nemijlocită a acestei comenzi.

Scanned with OKEN Scanner

La fiecare etapă, alegerea ordinului se face sub acțiunea contorului de comandă centrală, care dă instrucțiunile necesare.

Comanda aleasă este păstrată în blocul de memorie al dispozitivului de comandă centrală.

Într-o parte a acestui bloc se înregistrează conținutul adreselor *A1*, *A2* și *A3* și în altă parte se reține codul operației. Pe baza acestor numere, prin intermediul unui comutator de operații și al schemei de comandă centrală a operației, se conectează dispozitivul aritmetic în mod corespunzător, făcîndu-l adecvat pentru îndeplinirea operației, al cărei cod a fost reținut în dispozitivul de memorie.

După îndeplinirea unui ordin în contorul comenzilor N se înregistrează o unitate în plus și se trece la alegerea unei noi comenzi.

Unele detalii privind programarea calculatoarelor digitale se dau în capitolele următoare.

5. ALGORITMI ȘI PROGRAME

1. Pentru procesele care intervin în calculatoarele electronice, precum și pentru alte clase mari de procese logice sau tehnice, se poate utiliza o descriere operatorie, aplicîndu-se metoda preconizată de *A. A. Leapunov*.

În general, în schemele de calcul, plecîndu-se de la anumite date x, se ajunge la alte date y, utilizîndu-se o serie de operații. Aceasta se poate exprima simbolic scriind

$$xA = y.$$

În desfășurarea calculelor se poate întîmpla să intervină mai multe operații care se efectuează succesiv. În acest caz se poate scrie

$$A = A_1 \cdot A_2 \cdot \ldots \cdot A_n = \prod_1^n A_k.$$

Dar, în desfășurarea calculelor nu totdeauna avem un mers unidirecțional. Există anumite situații în care este necesar să se țină seama de anumite condiții logice.

2. Fie, de exemplu, problema simplă a calculării unei expresii de forma $S = \sum_0^N n^{-1}$, unde n sînt numerele naturale; calculul se continuă atîta timp cît $n < N$.

Scanned with OKEN Scanner

Uneori desfăşurarea calculului se prezintă sub forma unei *organigrame*, adică a unei diagrame de organizare a programelor sub forma unor blocuri legate între ele prin anumite segmente, fiecare bloc corespunzînd unei operaţii care trebuie executată de maşină.

Fie, de exemplu, programul referitor la calcularea sumei inverşilor întregilor de la $n = 1$ pînă la $n = N$.

În primul rînd se introduce în partea aritmetică cifra 1. Se începe apoi o secvenţă iterativă, care constă în calcularea inversului numărului respectiv : în prima etapă *1* şi într-o etapă oarecare a calculului n^{-1}. Acest rezultat se adaugă la suma obţinută în etapa precedentă. Se face apoi ca n să crească cu o unitate. Se compară n cu N şi se verifică dacă subzistă în egalitatea $n = N$. În caz afirmativ se extrage suma din calculator. În caz negativ, se reîncepe secvenţa iterativă. În fond, organigrama nu este decît traducerea enunţului problemei în vederea transpunerii în limbajul maşinii.

În cazul de faţă, algoritmul calculului se poate scrie

$$\overset{A}{AP\uparrow}!$$

care se traduce astfel : după efectuarea operaţiei A se verifică condiţia logică $P(n = N)$. În cazul în care ea este satisfăcută, se trece de săgeată la operatorul ! care înseamnă extragerea rezultatului din maşină şi oprirea acesteia. În caz contrar, se reia operaţia A, indicată de săgeată. Această operaţie înseamnă adăugarea unei unităţi la n, calcularea lui n^{-1} şi adăugarea lui n^{-1} la S_{n-1}.

2. În reprezentarea operatorilor, se întîlnesc următoarele formule : operatori de calcul notaţi în general prin literele A, B, C, condiţii logice notate cu P, o serie de săgeţi care arată modul în care trebuie să se desfăşoare calculul.

În general, operatorii se consideră ca aplicîndu-se de la stînga spre dreapta.

De exemplu, în cazul operatorului

$$\prod_{1}^{n} A_k \overset{C}{P_1\uparrow} \overset{A}{BP_2\uparrow} C!$$

se aplică mai întîi toţi operatorii A_k, pentru toate valorile lui k de la 1 la n. După aceea se verifică condiţia logică P_1. În cazul în care condiţia logică este satisfăcută, se trece la operatorul B. În caz contrar, se trece la operatorul C aşa cum indică simbolul C pus deasupra săgeţii de lîngă operatorul P_1.

Scanned with OKEN Scanner

În mod asemănător neverificarea condiției logice P_2 duce din nou la aplicarea operatorului A_1.

Semnul ! indică terminarea procesului descris în algoritmul respectiv.

Uneori se utilizează și o notație parțial diferită, în sensul că în expresia algoritmului apar atît săgeți cu vîrful în sus, cît și săgeți cu vîrful în jos. Săgețile cu vîrful în sus se pun imediat după operatorii care corespund condițiilor logice. În acest mod de formulare a operatorilor, săgețile sînt numerotate. În cazul în care un operator logic nu este verificat, se trece de la etapa aceasta la operatorul indicat prin săgeata cu vîrful în jos care are același număr cu săgeata cu vîrful în sus, dispusă lîngă operatorul considerat.

În desfășurarea calculelor pot interveni operatori de diferite tipuri.

Fie astfel operatorul logic

$$\overset{2}{\downarrow} P_1 \overset{1}{\uparrow} A P_2^0 \overset{2}{\uparrow} \overset{1}{\downarrow} !$$

El indică următoarea ordine a calculelor:

Se verifică în primul rînd condiția logică P_1. Dacă ea este verificată, se trece la aplicarea operatorului A, după care se trece la verificarea condiției logice P_2^0. Exponentul simbolic 0 arată că este vorba de o condiție obligatorie, după ea trecîndu-se totdeauna la indicația săgeții imediat următoare — care în cazul de față prevede reluarea ciclului.

Pentru ca în cazul proceselor ciclice să se pună în evidență dependența de un indice, se poate scrie $AP\overset{A}{\uparrow}!$ sau $A_k F(k) P\overset{A}{\uparrow}!$ în cel de-al doilea caz noua valoare k cu care se reia ciclul fiind dată de operatorul A_k.

În cazul mai multor indici se poate scrie, de exemplu

$$F_1 F_2(k) A_{ki} G(k) P_1 \overset{A}{\uparrow} G(i) P_2 \overset{F_2}{\uparrow} !$$

3. Cu ajutorul unor scheme algoritmice se poate descrie și formarea reflexelor condiționate. Pentru aceasta se consideră cîteva modele simple.

Într-un astfel de model se pleacă de la observația că reflexul condiționat se formează în conformitate cu legea „tot sau nimic".

În cazul acestor reflexe condiționate se consideră doi stimuli, notați a și b, și o reacție notată A. La început, înainte de

formarea reflexului condiționat, a atrage după sine pe A, și b nu atrage după sine pe A, ceea ce se poate nota

$$a \longrightarrow A, \qquad b \not\longrightarrow A.$$

În decursul formării reflexului condiționat se consideră asocierile dintre a și b, adică situațiile în care a și b apar simultan. Aceasta corespunde evenimentului $c = a \,\&\, b$.

Se notează prin n numărul de cazuri în care apare această coincidență dintre a și b adică numărul de cazuri în care $c \neq 0$.

Pentru fiecare caz în care avem această situație, se poate construi o funcție

$$P(n) = \begin{cases} 1 & n \geqslant N, \\ 0 & n < N. \end{cases}$$

Atunci se poate pune

$$A = a \vee bP(n),$$

ceea ce arată că A este provocat fie de stimulul necondiționat a, fie de stimulul condiționat b, după ce s-au realizat suficient de multe asociații (N este dat).

Algoritmic se poate scrie $\downarrow KC_1P_1 \uparrow A$, unde K este operatorul de formare a unei perechi de numere întîmplătoare a și b, C_1 este operatorul de calculare a funcției $P(n)$, iar condiția logică P_1 corespunde la $n \geqslant N$. Evident, operatorul A corespunde producerii reflexului A.

Se poate considera că P nu depinde de n, ci de N, adică

$$A = a \vee bP(N)$$

unde N este un număr care depinde atît de numărul n de coincidențe, cît și de numărul m de anticoincidențe, adică de situațiile în care se dă stimulul b, fără ca aceasta să antreneze după sine stimulul a. În acest caz, $N = \Sigma h$, unde

$$h = \begin{cases} +f \text{ dacă } & ab = 1, \\ -g \text{ dacă } & a'b = 1 \end{cases}$$

unde f, g sînt numere pozitive și $f > g$.

Însă, acest mod de descriere nu este satisfăcător, deoarece în realitate reflexul condiționat nu se formează în mod discontinuu, existînd în perioada de formare un răspuns aleatoriu la animalul la care se formează respectivul reflex condiționat.

Se poate considera pentru aceasta că în momentele succesive $t_n = t_0 + n\tau$, au loc experiențele de formare a reflexului.

Scanned with OKEN Scanner

formarea reflexului condiționat, a atrage după sine pe A, și b nu atrage după sine pe A, ceea ce se poate nota

$$a \longrightarrow A, \qquad b \not\longrightarrow A.$$

În decursul formării reflexului condiționat se consideră asocierile dintre a și b, adică situațiile în care a și b apar simultan. Aceasta corespunde evenimentului $c = a \,\&\, b$.

Se notează prin n numărul de cazuri în care apare această coincidență dintre a și b adică numărul de cazuri în care $c \neq 0$.

Pentru fiecare caz în care avem această situație, se poate construi o funcție

$$P(n) = \begin{cases} 1 & n \geqslant N, \\ 0 & n < N. \end{cases}$$

Atunci se poate pune

$$A = a \vee bP(n),$$

ceea ce arată că A este provocat fie de stimulul necondiționat a, fie de stimulul condiționat b, după ce s-au realizat suficient de multe asociații (N este dat).

Algoritmic se poate scrie $\downarrow KC_1P_1 \uparrow A$, unde K este operatorul de formare a unei perechi de numere întîmplătoare a și b, C_1 este operatorul de calculare a funcției $P(n)$, iar condiția logică P_1 corespunde la $n \geqslant N$. Evident, operatorul A corespunde producerii reflexului A.

Se poate considera că P nu depinde de n, ci de N, adică

$$A = a \vee bP(N)$$

unde N este un număr care depinde atît de numărul n de coincidențe, cît și de numărul m de anticoincidențe, adică de situațiile în care se dă stimulul b, fără ca aceasta să antreneze după sine stimulul a. În acest caz, $N = \Sigma h$, unde

$$h = \begin{cases} +f \text{ dacă } & ab = 1, \\ -g \text{ dacă } & a'b = 1 \end{cases}$$

unde f, g sînt numere pozitive și $f > g$.

Însă, acest mod de descriere nu este satisfăcător, deoarece în realitate reflexul condiționat nu se formează în mod discontinuu, existînd în perioada de formare un răspuns aleatoriu la animalul la care se formează respectivul reflex condiționat.

Se poate considera pentru aceasta că în momentele succesive $t_n = t_0 + n\tau$, au loc experiențele de formare a reflexului.

Scanned with OKEN Scanner

Se notează prin S_n starea animalului la momentul t_n. Se poate scrie

$$S_n = S_{n-1} + d + e,$$

unde e este un număr aleatoriu, a cărui speranță matematică este nulă. Prin d se notează un număr care depinde de a și b, astfel:

$$d = \begin{cases} 0 & b = 0 \\ +f & ab = 1 \\ -g & a'b = 1 \end{cases}$$

Se fac următoarele notații:

C_1 — operatorul de trecere de la S la $S + f$,
C_2 — operatorul de trecere de la S la $S - g$,
C_3 — operatorul de trecere de la S la $S + e$,
K — operatorul care de fiecare dată în experiment dă valorile lui a și b,
A — operatorul care produce reacția A,
P_1 — condiția logică $b = 1$,
P_2 — condiția logică $a = 1$,
P_3^0, P_5^0, P_7^0 — simboluri de trecere necondiționată,
P_4 — condiția logică $a = 0$,
P_6 — condiția logică $S > T$, unde T este pragul de producere a reflexului condiționat.

Schema logică algoritmică a formării acestui reflex condiționat este următoarea:

$$\begin{matrix} 6\ 3 & & 1 & 2 & 5\ 4 & & 3\ 1 & & 5 & 3\ 2 & & 6 & 4 \end{matrix}$$
$$\downarrow\downarrow K\, C_3\, P_1 \uparrow P_2 \uparrow C_1 \downarrow\downarrow A\, P_3^0 \uparrow \downarrow P_4 \uparrow P_5^0 \uparrow \downarrow C_2\, P_6 \uparrow P_7^0 \uparrow .$$

Rolul pe care-l au în această schemă logică numerele aleatorii e este de a simula prezența zgomotului de fond existent în orice rețea, inclusiv rețeaua nervoasă. Datorită acestui zgomot de fond, răspunsul rețelelor nu este totdeauna univoc determinat. Numerele aleatorii în anumite cazuri pot favoriza formarea reflexului și în alte cazuri, dimpotrivă pot diminua datele înregistrate privind coincidențele dintre stimulii a și b.

Explicația logică a algoritmului precedent este simplă.

Pe baza experimentului, cu ajutorul operatorului K, se determină valorile pe care le iau în momentul respectiv a și b. Operatorul C_3 determină după aceea numărul aleatoriu e. Se verifică apoi în primul rînd existența stimulului condiționat b, prin condiția P_1. Dacă el există, atunci se trece mai departe,

Scanned with OKEN Scanner

la verificarea condiției existenței stimulului necondiționat a (prin P_2).

Dacă stimulul necondiționat nu există, atunci se trece la săgeata numerotată 1 și cu vîrful în jos și se verifică condiția logică de inexistență a stimulului necondiționat a (condiția P_4). În cazul în care stimulul necondiționat există, condiția nu este îndeplinită și atunci se trece la operatorul A, care corespunde producerii reacției A.

Dacă s-a produs această reacție, se ajunge la condiția P_3^0 care reprezintă trecerea necondiționată de la săgeata 3 cu vîrful în sus la săgeata 3 cu vîrful în jos — ceea ce corespunde reluării ciclului.

Dacă în cazul dat nu a existat stimulul necondiționat a, dar condiția P_4 este verificată atunci se ajunge din nou la operatorul de trecere necondiționat P_5^0, care duce la reluarea ciclului.

În cazul în care există atît stimulul necondiționat cît și stimulul condiționat, se ajunge la operatorul C_1, care duce la întărirea reflexului condiționat și, în același timp, se produce reacția descrisă de operatorul A.

În cazul în care stimulul condiționat există și stimulul necondiționat nu există, de la săgeata 2 cu vîrful în sus se trece la operatorul C_2 care duce la micșorarea numărului S. După aceea se verifică condiția P_6 referitoare la raportul dintre mărimea lui S și pragul lui T. Dacă pragul este depășit, atunci prin operatorul P_7^0 se trece direct la operatorul A.

Dacă $S < T$, se reîncepe un nou ciclu fără a se produce reacția A.

Evident se pot constitui descrieri algoritmice și pentru situații mai complexe, însă aceasta nu este totdeauna util.

Rezultă clar că metoda operațională poate servi atît la descrierea unor scheme de calcul cît și la descrierea unor procese fiziologice.

6. LIMBAJUL ELECTRONIC

1. Pentru descrierea modului în care funcționează calculatoarele electronice atunci cînd au de rezolvat o anumită problemă concretă, se pot utiliza două metode diferite, și anume: prezentarea programului logic pe care-l efectuează mașina fie

Scanned with OKEN Scanner

sub forma unui grafic — numit *organigramă* — fie sub forma unui algoritm.

Fie, de exemplu, de efectuat operaţia simplă

$$y = ax + b.$$

Sîntem în prezenţa unui calcul în care mărimea x se înmulţeşte cu numărul a, rezultatul adunîndu-se cu b.

Grafic, evoluţia calculului se reprezintă ca în fig. 6. 1, iar sub formă de algoritm se prezintă astfel

$$AB!$$

unde A este operatorul care înseamnă „înmulţeşte cu a“, şi B este operatorul care înseamnă „adună b“.

Deci xAB reprezintă tocmai trecerea de la x la $ax + b$.

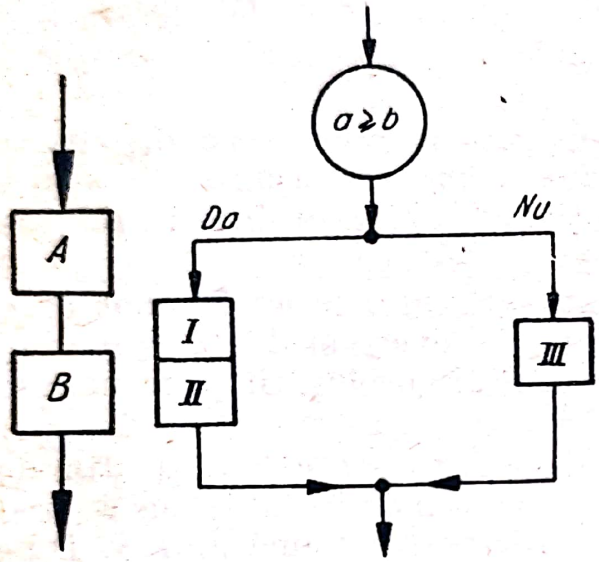


Fig. 6.1

Fig. 6.2

Se poate întîmpla ca un anumit calcul să fie supus condiţiei ca atunci cînd $a \geqslant b$, să se efectueze succesiunile de calcule numite convenţional I şi II. În cazul în care $a < b$, evoluţia calculului se face după altă succesiune, denumită III. Organigrama se reprezintă în fig. 6.2; sub formă algoritmică, evoluţia calculului se notează astfel:

$$P_1 \overset{1}{\uparrow} CD P_0 \overset{2}{\uparrow} \overset{1}{\downarrow} E \overset{2}{\downarrow} !$$

P_1 este condiţia logică $a \geqslant b$. În cazul în care condiţia este satisfăcută, se trece la aplicarea operatorilor C (succesiunea de calcule I) şi D (succesiunea de calcule II); în caz contrar se trece la E (succesiunea de calcule III); P_0 este un operator care nu e satisfăcut niciodată, deci duce la !, adică la oprirea calculelor.

În numeroase calcule intervin probleme de iteraţie. În acest caz sîntem în prezenţa unui ciclu care se repetă atîta timp cît este satisfăcută o anumită condiţie logică. Fie, de exemplu, de calculat suma

$$d_i = a_i + b_i + c_i,$$

unde $i \leqslant n$.

Scanned with OKEN Scanner

sub forma unui grafic — numit *organigramă* — fie sub forma unui algoritm.

Fie, de exemplu, de efectuat operația simplă

$$y = ax + b.$$

Sîntem în prezența unui calcul în care mărimea x se înmulțește cu numărul a, rezultatul adunîndu-se cu b.

Grafic, evoluția calculului se reprezintă ca în fig. 6. 1, iar sub formă de algoritm se prezintă astfel

$$AB!$$

unde A este operatorul care înseamnă „înmulțește cu a“, și B este operatorul care înseamnă „adună b“.

Deci xAB reprezintă tocmai trecerea de la x la $ax + b$.

Se poate întîmpla ca un anumit calcul să fie supus condiției ca atunci cînd $a \geqslant b$, să se efectueze succesiunile de calcule numite convențional I și II. În cazul în care $a < b$, evoluția calculului se face după altă succesiune, denumită III. Organigrama se reprezintă în fig. 6.2; sub formă algoritmică, evoluția calculului se notează astfel:

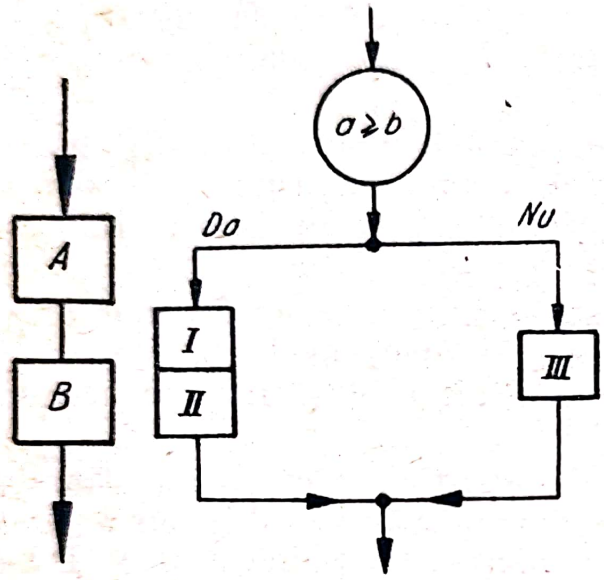


Fig. 6.1 Fig. 6.2

$$\overset{1}{P_1}\uparrow \overset{2}{C}\overset{1}{D}\overset{2}{P_0}\uparrow\downarrow E\downarrow !$$

P_1 este condiția logică $a \geqslant b$. În cazul în care condiția este satisfăcută, se trece la aplicarea operatorilor C (succesiunea de calcule I) și D (succesiunea de calcule II); în caz contrar se trece la E (succesiunea de calcule III); P_0 este un operator care nu e satisfăcut niciodată, deci duce la !, adică la oprirea calculelor.

În numeroase calcule intervin probleme de iterație. În acest caz sîntem în prezența unui ciclu care se repetă atîta timp cît este satisfăcută o anumită condiție logică. Fie, de exemplu, de calculat suma

$$d_i = a_i + b_i + c_i,$$

unde $i \leqslant n$.

Scanned with OKEN Scanner

Organigrama se prezintă ca în fig. 6.3. Acelaşi calcul se reprezintă sub formă algoritmică astfel

$$I \downarrow A_i B_i C_i D_i J P \uparrow !$$

unde operatorii au următoarele semnificaţii : I — se ia $i = 1$; A_i, B_i, C_i şi D_i corespund calculării lui a_i, b_i, c_i şi d_i; J corespunde calculării lui $i + 1$; condiţia P înseamnă $i + 1 \geqslant n$.

Efectuarea propriu-zisă a calculelor în calculatoarele electronice, în general, se efectuează după metode care diferă sensibil de procedeele folosite în mod curent, atunci cînd nu se lucrează cu maşina.

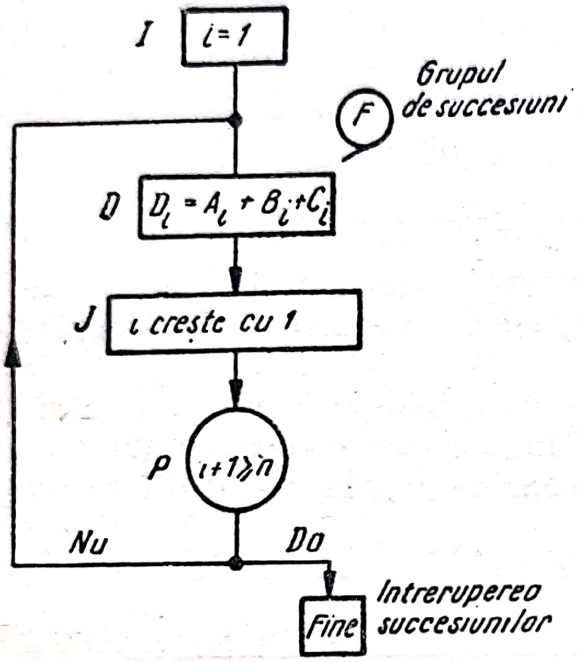


Fig. 6.3

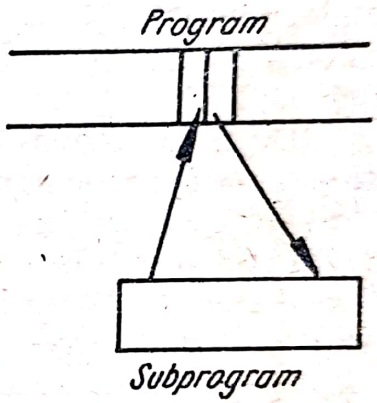


Fig. 6.4

Astfel funcţiile trigonometrice sau logaritmice nu se extrag din tabele înregistrate în memoria maşinii, deoarece aceste tabele ar consuma un foarte mare număr de celule.

Se preferă ca în interiorul calculatorului să existe înregistrate anumite *subprograme* numite şi *rutine*, care să permită determinarea funcţiei respective.

Pentru a calcula, de exemplu, un logaritm, este necesar să se iasă din desfăşurarea normală a calculelor pentru a reveni apoi, cu valoarea calculată; situaţia se poate reprezenta ca în fig. 6.4.

Metodele de calcul utilizate sînt, în general, tratate în capitolul din matematică, denumit „Analiză numerică".

De exemplu, pentru a calcula $\ln(1 + x)$, unde variabila x are valori cuprinse în intervalul (0, 1), se pot utiliza mai multe metode, în afara tabelelor, şi anume :

a) Dezvoltarea expresiei sub forma unei serii

$$\ln(1 + x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \cdots$$

b) Dezvoltarea sub forma unei fracții continue

$$\ln(1+x) = \cfrac{x}{1+\cfrac{1^2x}{2+\cfrac{1^2x}{3+\cfrac{2^2x}{4+\cfrac{2^2x}{\cdots}}}}}$$

c) Utilizarea unei expresii polinomiale

$$\ln(1+x) = a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_6x^6,$$

unde, coeficienții a_i sînt constanți. Această metodă permite calcularea funcției lg $(1+x)$ cu o eroare care nu depășește 0,0000015.

Dacă se compară între ele metodele de la punctele a și b, se constată că pentru a se obține aceeași precizie, numărul de termeni care trebuie luați în considerație la calcul diferă după metoda adoptată.

Astfel, pentru diferite valori ale lui x, situația se prezintă ca în următoarea tabelă:

x	Numărul de termeni necesari dezvoltării în	
	serie	fracție continuă
0,1	8	7
0,5	16	11
0,7	25	16
0,9	143	34

La fel, pentru calcularea rădăcinii pătrate, nu se aplică metoda obișnuită învățată în școală, ci o metodă specială, care este adecvată posibilităților calculatoarelor electronice.

Pentru a înțelege această metodă, care permite calcularea lui $x = a^{1/2}$, se pleacă de la ecuația

$$y = x^2 - a.$$

Prin derivare se obține

$$y' = 2x = \operatorname{tg}\alpha,$$

sau

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{P_0X_0}{X_0X_1} = \frac{y_0}{x_0 - x_1}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Dar (fig. 6.5)

$$\operatorname{tg}\alpha = 2x_0 = \frac{y_0}{x_0 - x_1} = \frac{x_0^2 - a}{x_0 - x_1},$$

de unde

$$x_1 = \frac{1}{2}\left(x_0 + \frac{a}{x_0}\right)$$

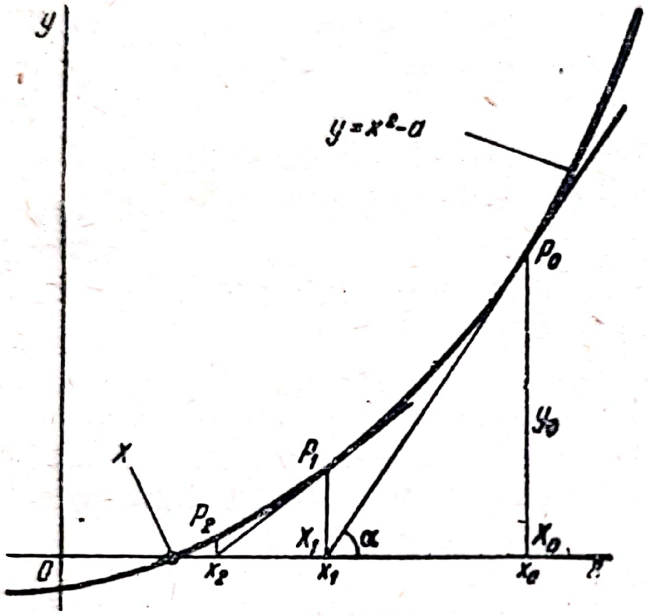


Fig 6.5

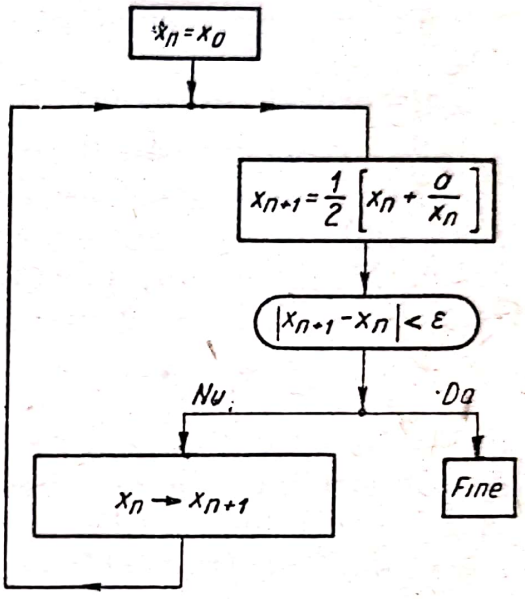


Fig 6.6

și, în general,

$$x_{n+1} = \frac{1}{2}\left(x_n + \frac{a}{x_n}\right).$$

Această succesiune de valori ale lui x_n permite să se determine în cele din urmă valoarea lui x.

Sub formă de organigramă, evoluția calculului se prezintă ca în fig. 6.6.

După cum se observă, calculul se repetă atîta timp cît diferența dintre două valori succesive ale lui x_k este mai mare decît limita impusă ε.

În ceea ce privește scrierea propriu-zisă a programelor pentru calculatoarele electronice, aceasta se face ținîndu-se seama de particularitățile efective ale calculatorului.

În ultima vreme există diferite sisteme de a redacta programele, astfel încît ele să fie exprimate într-un limbaj accesibil mașinii.

Scanned with OKEN Scanner

Nu totdeauna programele au o evoluţie atît de simplă ca aceea arătată anterior.

Tendinţa modernă la calculatoarele mari contemporane este de a utiliza, pentru scrierea programelor, un simbolism cît mai apropiat de cel folosit de matematicieni în rezolvarea problemelor.

Există diferite încercări de a automatiza munca de programare, în sensul că efectuarea propriu-zisă a programului revine maşinii însăşi.

Programarea efectivă a calculelor pentru un calculator este o operaţie care se poate face numai cunoscînd specificul calculatorului în cauză.

Se deosebesc calculatoare cu o adresă, cu două adrese etc.

La un calculator „*cu o adresă*", instrucţiunile sînt de forma $A_i a_j$, unde a_j este adresa cu numărul j, şi A_i este un anumit ordin. De exemplu, pentru a aduna două numere aflate în celulele a şi b se poate face programul

1. Aa 2. Ab 3. Bc,

unde Aa se traduce „conţinutul celulei a se aduce în registrul de adunare". Cel de-al doilea ordin corespunde adunării propriu-zise, iar cel de-al treilea ordin se interpretează prin „conţinutul registrului se transferă la adresa c".

În sistemul de programare „*cu trei adrese*" o instrucţiune se prezintă sub forma

$$mabc,$$

unde m este codul operaţiei care se execută asupra numerelor aflate la adresele a şi b, rezultatul operaţiei urmînd a fi înregistrat în celula c.

În general, instrucţiunile se înscriu unele după altele, în ordinea în care trebuie executate, constituind aşa-numitul *program*.

Fiecare instrucţiune trebuie să cuprindă operaţia ce trebuie executată şi adresele termenilor care intervin în operaţii.

Operaţiile se referă uneori la mărimi aritmetice, însă alteori ele se referă la unele variante sau la anumite operaţii de servitute.

Trebuie menţionate în mod special operaţiile de *transfer* şi operaţiile de *intrare* şi de *ieşire*.

În aceste cazuri, ordinea de prelucrare a instrucţiunilor se schimbă, nemaifiind cea naturală, în care după instrucţiunea

Scanned with OKEN Scanner

n urmează instrucţiunea $n + 1$. De asemenea, în anumite cazuri se recurge la aşa-numitele *subprograme*, care pot fi considerate ca nişte bucle pe traseul programului principal.

În ceea ce priveşte organizarea subprogramelor trebuie remarcat faptul că, în general, ele sînt înscrise în memoria externă. Dacă se notează prin PP programul principal, şi prin SP un anumit subprogram, în unele cazuri este necesar ca programul principal să se întrerupă într-un anumit punct, pentru a permite trecerea la subprogramul respectiv. Trecerea se face prin intermediul unei aşa-numite variante de schimbare a seriei (VSS).

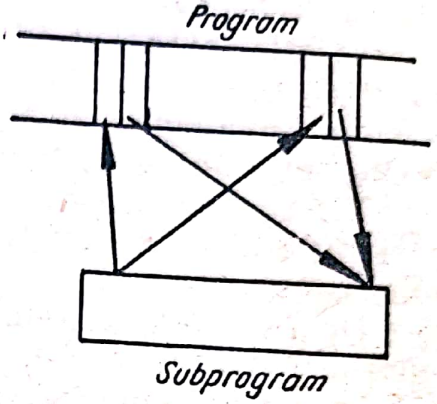


Fig. 6.7

În fig. 6.7 este arătată schematic trecerea de la programul principal la subprogram şi revenirea la programul principal, precum şi revenirea a doua oară la acelaşi subprogram.

Pentru a permite aceste treceri, calculatoarele sînt prevăzute cu posibilitatea efectuării unei operaţii care asigură revenirea la acea linie a programului corespunzătoare intrării în subprogram.

În ceea ce priveşte programarea pentru efectuarea calculelor ştiinţifice trebuie avut în vedere faptul că limbajul maşinii este precis, concis şi suficient de detaliat pentru a permite efectuarea tuturor calculelor ştiinţifice. Acest limbaj al calculatoarelor este însă ermetic şi analitic, în sensul că codurile operaţiilor sînt cifrate, iar mărimile care intervin în calcule sînt reprezentate numai prin adrese, care nu sugerează natura operaţiilor cuprinse în ele.

De asemenea, programele detaliate sînt analitice, în sensul că, în general, nu se poate ca, printr-o singură comandă, să fie prevăzută efectuarea unor operaţii complexe, cum ar fi, de exemplu, *multiplicarea a două matrice*.

Tocmai pentru a se remedia această situaţie, s-au creat limbaje speciale, mai apropiate de limbajul matematic obişnuit, ceea ce permite programatorului să formuleze mai uşor programul maşinii.

Scanned with OKEN Scanner

De fapt, în aceste sisteme programatorul nu formulează decît etapele mari ale modului în care urmează să se desfășoare calculele, rămînînd ca însuși calculatorul să efectueze programul detaliat pe care îl va executa.

Sîntem deci în prezența unei *autoprogramări* a calculatoarelor.

În momentul de față există diferite sisteme de autoprogramare, printre care: FORTRAN (FORmula TRANslator), UNICODE, SOAP 2 (Symbolic Optimal Assembly Program), IT (Internal Translator), FORTRANSIT, ALGOL (ALGOrithmic Language sau ALGebraic Oriented Language), COBOL (COmmon Business Oriented Language).

Fiecare din aceste sisteme se caracterizează prin anumite particularități, adecvate calculatorului pentru care a fost conceput.

De exemplu, sistemul AP.2 a fost conceput pentru calculatorul GAMMA 60.

În general, marile calculatoare digitale moderne sînt prevăzute cu posibilitatea de autoprogramare. Aceasta corespunde faptului că ele sînt astfel construite, încît programul lor poate fi scris într-un limbaj apropiat de limbajul matematic, fără a se ține seama de limbajul propriu al mașinii. Cu alte cuvinte, programatorul scrie programul într-un mod apropiat de cel al formulelor matematice uzuale, rămînînd în sarcina calculatorului digital de a transforma programul în succesiunea de ordine ce trebuie executate.

În sistemul AP.2 codurile operațiilor sînt cuvinte din limbajul matematic sau prescurtări explicite ale acestora. Astfel, de exemplu, se scrie ADD pentru adunare, RA3 pentru rădăcina cubică, LDX pentru logaritmul zecimal al lui X etc.

Adresele cantităților care intervin în formule se exprimă prin simbolurile care servesc la analiza modelului, fără să fie necesară cunoașterea efectivă a adreselor din mașină.

De exemplu, formula SIN X — Y înseamnă că se calculează sin x, x fiind conținut în memorie la adresa X, rezultatul urmînd a fi introdus în memorie la adresa Y. Rezultă că pe viitor rezultatul se va putea numi Y.

Această identificare formală între adrese și cantitățile conținute de ele este totdeauna posibilă, pentru că de îndată ce calculatorul a primit informația, adresele sînt o reprezentare suficientă a cantităților asupra cărora se operează.

Rezultă de aici o proprietate importantă. Dacă se organizează calculul astfel ca în celula X să se introducă succesiv o serie de numere cărora li se aplică aceiași operatori, se poate

Scanned with OKEN Scanner

obține în Y seria de rezultate; cu alte cuvinte se realizează valorile unei funcții pentru o serie de valori ale variabilei independente.

Pentru unele mașini se poate scrie, de exemplu, în mod simbolic, următorul program de rezolvare a unei ecuații de gradul doi

$$ax^2 + bx + c = 0.$$

1. Se introduc în memorie valorile a, b, c în celulele A, B, C.
2. Se calculează

$$\Delta = B*2 - 4 \times A \times C.$$

Evident, $B*2$ înseamnă b^2.

3. Dacă $\Delta \neq 0$, se trece la 7.
4. $X1 = -(B/2 \times A)$.
5. Se scrie X1.
6. Se trece la 15.
7. Dacă $\Delta > 0$, se trece la 12.
8. $R = -(B/2 \times A)$.
9. $I = \text{RAC}(\text{ABS}(\Delta))/2 \times A$.
10. Se scriu: R, I, R, $-I$.
11. Se trece la 15.
12. $X1=(-B+\text{RAC}(\Delta))/2\times A$
13. $X2=(-B-\text{RAC}(\Delta))/2\times A$.
14. Se scriu X1 și X2.
15. Sfîrșit.

Sub forma unei organigrame, evoluția calculului se prezintă ca în fig. 6.8.

Important e faptul că detalierea programului în ceea ce privește calcularea diferitelor expresii cu ajutorul cărora se ajunge la rădăcinile ecuației este efectuată de mașină pe baza altor subrutine înregistrate în interiorul ei.

În ultimul timp, s-a creat un limbaj internațional pentru scrierea programelor. Este vorba despre așa-numitul limbaj Algol-60, adică limbajul algol stabilit în 1960.

Acest limbaj are următoarele caracteristici:

1. Se utilizează alfabetul latin, literele mari (A, ..., Z) și literele mici (a, ..., z).
2. Cifrele arabe (0,..., 9).
3. Diferite semne

a) operatori

— aritmetici: $+ - \times /$

— de comparație: $< \leqslant > \geqslant = \neq$

— logici: $\neg \vee \wedge \equiv$

Scanned with OKEN Scanner

— de succesiune (în paranteză se dă echivalentul englez al termenilor) : *treci la* (*go to*), *efectuează* (*do*), *întoarce-te* (*return*), *fine* (*end*), *pentru* (*for*), *dacă* (*if*), *dacă fiecare* (*if either*), *sau dacă* (*or if*),

b) semne de despărțire :, : ; : = = : $\rightarrow_{10}$;

c) paranteze ( ) [ ] ↑ ↓, început, sfîrșit ;

d) informații : *procedură* (*procedure*), *tablou* (*array*) ; *comutator* (*swich*), *bandă* (*type*), *observație* (*comment*).

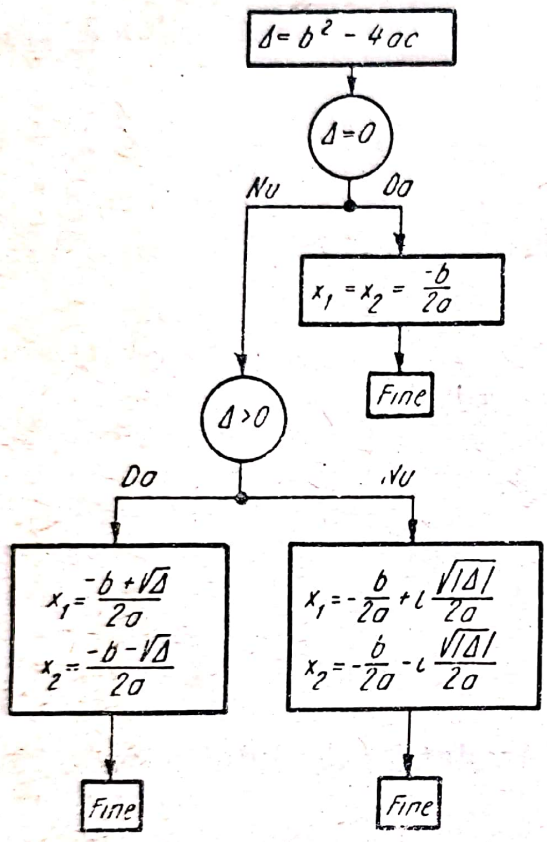


Fig. 6.8

Limbajul Algol-60 a fost adoptat în numeroase țări, fiind utilizat în scrierea simbolică a programelor.

La conferința G.A.M.S. din octombrie 1963 de la Sofia, la care au participat specialiști ai țărilor socialiste s-a discutat problema adoptării unui limbaj unificat în toate țările socialiste, pentru întocmirea programelor la calculatoarele electronice.

Adoptarea unui astfel de limbaj comun este astăzi o necesitate, deoarece existența unui limbaj internațional, în care se exprimă ideile matematice, metodele logice de rezolvare a problemelor, ar permite ca un program, întocmit pentru un calculator dintr-o anumită țară, să fie utilizat de un alt calculator, dintr-o altă țară, și aceasta fără nici un efort special.

7. SISTEME DE COMUNICAȚII

1. Deoarece în orice sistem cibernetic există o comunicație, se impune studierea, dintr-un punct de vedere general, a sistemelor de comunicații.

Schema generală a unui sistem de comunicații (fig. 7.1) cuprinde cinci părți esențiale, și anume :

1) o sursă de informații care produce un mesaj sau o succesiune de mesaje ce trebuie comunicate destinatarului ;

2) un transmițător care acționează asupra mesajului pentru a produce un semnal care poate fi transmis ;

3) un canal — mediul prin care se transmite semnalul de la transmițător la punctul de recepție;

4) receptorul care, în mod normal, efectuează operația inversă, prin care se trece de la semnalul recepționat, la mesajul final;

5) destinatarul căruia îi este destinat mesajul inițial.

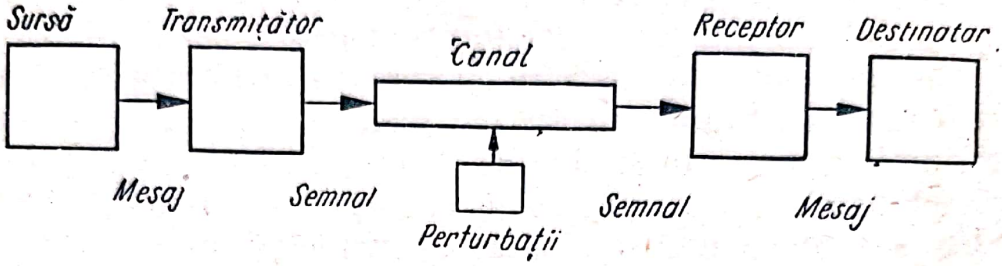


Fig. 7.1

În mod normal, asupra unui sistem de comunicații acționează și o sursă de perturbații a cărei acțiune este localizată în canalul de comunicații.

Înainte de a trece mai departe, este firesc să precizăm prin cîteva exemple funcțiunile elementelor fundamentale care intervin în schema generală a unui sistem de comunicații.

Sursa de informații poate fi un om, o altă ființă vie, un aparat sau un fenomen natural.

Mesajul poate fi o succesiune de litere, ca în sistemele telegrafice, sau o funcție continuă $f(t)$, ca în radio sau în telefonie.

În cazul telegrafiei cu alfabet Morse, transmițătorul transformă literele alfabetului în succesiuni de semnale electrice de lungimi diferite (linii, puncte, spații). În cazul sistemelor telefonice, transmițătorul transformă într-un curent electric variabil presiunea variabilă a aerului pus în mișcare prin fenomenul vorbirii.

Mediul poate avea proprietăți foarte diferite. În cazul comunicațiilor prin fire, se întîlnesc fire (aeriene sau în cabluri subterane, eventual transoceanice). Dar, canalul poate fi format și de mediul prin care se transmit unde electromagnetice neghidate de conductor sau spațiul prin care se propagă undele sonore.

Receptorul telefonic obișnuit transformă curentul electric variabil în timp într-o presiune sonoră variabilă. Receptorul telegrafic, în cazul alfabetului Morse, transformă impulsurile de curent de durate variabile, în linii de lungime variată, înregistrate pe o bandă de hîrtie.

Destinatarul căruia i se adresează mesajul poate fi un om, un animal, un aparat.

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere cibernetic interesează stabilirea proprietăților generale informaționale ale sistemelor de comunicație, independent de natura lor fizică.

2. În general, sistemele de comunicații pot fi împărțite în trei mari categorii, și anume: continue, discrete și mixte.

Prin sistem *continuu* se înțelege un sistem în care mesajul și semnalul pot fi reprezentate prin funcții continue. De exemplu, curentul electric din firele telefonice variază continuu cu presiunea sonoră care se exercită asupra microfonului respectiv.

Un sistem se numește *discret*, atunci cînd mesajul și semnalul sînt secvențe de simboluri discrete. Mesajele imprimate, ca și semnalele telegrafice, sînt exemple de sisteme discrete.

Un sistem se numește *mixt* atunci cînd în ele apar atît variabile discrete, cît și variabile continue. Acesta este cazul unor sisteme de modulare a impulsurilor.

În cele ce urmează se vor studia pe rînd proprietățile canalelor și ale surselor de informație. Acestea din urmă trebuie considerate separat, o dată în absența perturbațiilor și altă dată în perezența perturbațiilor.

Evident, în toate aceste cercetări este necesar să se țină seama de faptul că transmiterea mesajelor se face într-un mod probabilistic, în sensul că proprietățile mesajelor, ca și ale semnalelor, sînt date prin caracteristici aleatorii.

3. Experiența de fiecare zi ne pune în prezența unor evenimente întîmplătoare care, totuși, în ansamblu, prezintă anumite caractere independente de factorii întîmplători. Astfel, dacă vom urmări ultima cifră de la numerele vehiculelor pe care le întîlnim pe stradă, vom constata că, în medie, întîlnim tot atîtea numere cu soț cît și numere fără soț. De asemenea, în medie, întîlnim într-o zi aproximativ tot atîtea femei cît și bărbați.

În ambele cazuri sîntem în prezența unor fenomene de masă, în care avem de-a face cu evenimente care se repetă mereu, în aceleași condiții, de fiecare dată evenimentul respectiv putînd să se realizeze în două și numai în două moduri. În primul caz era vorba de numere pare sau impare, iar în al doilea caz, de persoane de sex feminin și de persoane de sex masculin.

În legătură cu fenomenele de masă care se repetă mereu în condiții identice, se poate introduce noțiunea de *probabilitate*, definită prin raportul dintre numărul de cazuri favorabile și numărul total de cazuri care se pot ivi.

Astfel, dacă se consideră un zar, admis ca fiind simetric, și realizat dintr-un material omogen, este normal să admitem că oricare dintre fețele zarului are tot atîtea șanse de

Scanned with OKEN Scanner

a se situa în sus, atunci cînd se aruncă zarul; dacă se face un număr mare de experienţe se constată că fiecare faţă a zarului iese în medie la fel de des. Să presupunem că se realizează N aruncări cu zarul şi fie N_1 numărul de ori în care cade faţa 1. Valoarea raportului N_1/N, pentru o valoare mare a lui N, se numeşte *frecvenţa* de apariţie a feţei 1.

Desigur că este posibil ca în prima aruncare f_1 să ia valoarea 1. Aceasta se întîmplă atunci cînd prima aruncare înregistrată duce la obţinerea feţei 1. Dar, la fel de bine, se poate întîmpla ca prima aruncare să corespundă unei alte feţe, caz în care f_1 ia valoarea 0.

Dacă însă se fac multe aruncări — să zicem 1 000 — se constată că f_1 se apropie foarte mult de valoarea-limită 1/6. Într-adevăr, toate feţele sînt la fel de favorizate în a cădea la aruncarea cu zarul, astfel încît este firesc ca frecvenţa ieşirii unei feţe a zarului să tindă spre probabilitatea respectivă.

4. În general, din definiţia dată la început pentru probabilitate (raportul dintre numărul de cazuri favorabile şi numărul de cazuri posibile), se deduce imediat o proprietate importantă a probabilităţii. Anume, probabilitatea este totdeauna un număr pozitiv, fiind raportul a două numere pozitive. În al doilea rînd, probabilitatea are o variaţie limitată între valorile 0 şi 1. Valoarea 1 corespunde cazului în care numărul cazurilor favorabile corespunde numărului total de cazuri. Aceasta este aşa-numitul caz *sigur* care se realizează totdeauna.

Cealaltă extremitate corespunde valorii zero a probabilităţii şi se obţine atunci cînd numărul cazurilor favorabile este egal cu zero. În acest caz sîntem în prezenţa aşa-numitului caz *imposibil*.

5. Fie un anumit eveniment care se poate realiza în m moduri diferite. Primul mod admite N_1 cazuri favorabile. Cel de-al doilea N_2 şi aşa mai departe. Dar, desigur că se poate scrie

$$N_1 + N_2 + \ldots + N_m = N.$$

Pe de altă parte este evident că raporturile N_1/N, N_2/N etc, definesc probabilităţile p_1, p_2 etc., de realizare a diferitelor cazuri. Se deduce de aici o proprietate importantă a probabilităţilor, şi anume

$$\frac{N_1}{N} + \frac{N_2}{N} + \ldots + \frac{N_m}{N} = 1.$$

6. Elementele de bază ale teoriei probabilităţilor sînt evenimentele şi probabilităţile respective.

Scanned with OKEN Scanner

Se observă în mod curent faptul că anumite experimente pot duce la rezultate diferite, datorită intervenţiei unor factori multipli care nu pot fi perfect cunoscuţi în totalitatea lor. Extragerea numerelor la loterie, tragerea la ţintă, măsurarea dimensiunilor unei piese oarecare dintr-un lot de piese fabricate în condiţii identice, sînt exemple de experimente la care rezultatele nu pot fi cunoscute dinainte.

Este uzual ca în calculul probabilităţilor să se considere perechi de evenimente A, B, din care unul implică pe celălalt, ceea ce se notează $A \to B$.

Se spune că evenimentul A implică evenimentul B ori de cîte ori realizarea evenimentului A duce şi la realizarea evenimentului B.

Fie, de exemplu, experienţa care constă în aruncarea unui zar. În această experienţă se pot obţine şase rezultate diferite, şi anume {1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {6}.

Se pot însă considera şi evenimente mai complexe, cum ar fi, de exemplu, apariţia unuia din numerele (3) şi (4), eveniment care se notează aici prin {3, 4}.

Realizarea evenimentului numit {3} implică realizarea evenimentului notat {3, 4}, ceea ce se notează $\{3\} \to \{3, 4\}$.

Implicaţia este o relaţie de ordine. Sistemele de evenimente sînt deci sisteme ordonate.

7. Pentru evenimente se poate adopta notaţia utilizată în teoria mulţimilor, scriind deci $A \cup B$ pentru evenimentul care constă în realizarea evenimentului A sau a evenimentului B. Desigur că

$$A \to A \cup B, \quad B \to A \cup B.$$

Se poate însă considera şi evenimentul care constă în realizarea simultană a unor condiţii comune evenimentelor A şi B. Rămînînd în cadrul exemplului dat, se pot considera evenimentele $A = \{2, 3\}$ şi $B = \{2, 5\}$. Intersecţia evenimentelor A şi B este $A \cap B = \{2\}$.

Evident

$$A \cap B \to A, \quad A \cap B \to B.$$

În fiecare sistem există un eveniment sigur sau total care se notează prin E.

În exemplul dat, $E = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

Desigur că $A \to E$, oricare ar fi evenimentul A.

În fiecare sistem există şi un eveniment imposibil, notat Ø. De exemplu, $\{1, 3\} \cap \{2, 4\} = Ø$. Două evenimente disjuncte se numesc *incompatibile*.

Scanned with OKEN Scanner

În fiecare sistem de evenimente, o dată cu evenimentul A există şi un eveniment contrar $\mathbf{C}A$, care se bucură de proprietăţile

$$A \cup \mathbf{C}A = E \qquad A \cap \mathbf{C}A = \emptyset.$$

De exemplu, dacă $A = \{1, 2\}$, atunci $\mathbf{C}A = \{3, 4, 5, 6\}$.

În sistemele de evenimente este satisfăcută relaţia de distributivitate

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C).$$

8. O experienţă oarecare repetată mereu în aceleaşi condiţii duce la rezultate în general diferite între ele. Dacă numărul rezultatelor diferite între ele este finit, se asociază experienţei un cîmp finit de evenimente, considerat ca mulţimea $\mathfrak{L}(E)$ a părţilor unei mulţimi finite E. Elementele lui E corespund evenimentelor elementare ale cîmpului, mulţimea E corespunde evenimentului sigur, iar $\emptyset$ reprezintă evenimentul imposibil.

9. Se numeşte *probabilitate* pe cîmpul de evenimente A (E) o funcţie pozitivă $P(A)$ definită pentru orice $A \in \mathfrak{L}(E)$ şi care are proprietăţile

$$P(E) = 1,$$

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad \text{dacă} \quad A \in E, B \in E \quad \text{şi} \quad A \cap B = \emptyset.$$

Se numeşte *cîmp de probabilitate finit* un sistem $\{E, \mathfrak{L}(E), P\}$, unde E este o mulţime de evenimente elementare şi P o probabilitate de $\mathfrak{L}(E)$.

Din definiţii rezultă imediat că

$$P(\emptyset) = P(\emptyset + \emptyset) = 2P(\emptyset), \quad \text{deci} \quad P(\emptyset) = 0.$$

Prin recurenţă rezultă că pentru orice familie finită de evenimente $(A_i) \in \mathfrak{L}(E)$, incompatibile două cîte două, are loc egalitatea

$$P(\cup A_i) = \cup P(A_i), \quad A_i \cap A_j = \emptyset.$$

Această proprietate are loc şi dacă mulţimea indicilor I este infinită.

Pentru cîmpurile de probabilitate finită se pot demonstra următoarele proprietăţi:

$0 \leqslant P(A) \leqslant 1$ pentru orice $A \in \mathfrak{L}(E)$;

$P(A) \geqslant P(B)$ dacă $A \supset B$, $A, B \in \mathfrak{L}(E)$;

$P(A) - P(B) = P(A - B)$ dacă $A \supset B$, $A, B \in \mathfrak{L}(E)$.

Scanned with OKEN Scanner

10. Se numeşte *variabilă aleatorie* o funcţie reală f definită pe mulţimea de elemente elementare E.

Se numeşte *desfacere* (*finită*) a mulţimii E orice familie $(A) \in \mathfrak{P}(E)$ de părţi disjuncte două cîte două şi a căror reuniune este E.

Semnalele pot fi clasificate în două categorii: discrete şi continue. Literele constituie un exemplu de elemente ale unui mesaj format din semnale discrete, în timp ce melodia constituie un exemplu de mesaj format din semnale continue.

Prin *semnal discret* se înţelege un semnal format din elemente discrete — care de obicei sînt în număr finit. Mulţimea acestor elemente constituie alfabetul utilizat. În acest sens se poate vorbi de alfabetele latin, romîn, devanagari, rus, precum şi de alfabetul utilizat pentru scrierea numerelor.

Alfabetele sînt în general mulţimi neordonate, elementele lor avînd numele generic de litere, indiferent de natura alfabetului. Este însă deosebit de utilă ordonarea acestei mulţimi după un criteriu arbitrar, aceasta permiţînd construirea dicţionarelor, de exemplu, sau redarea lor prin numere.

11. Pentru reprezentarea literelor se pot utiliza alte semne echivalente — cum ar fi numere sau semnale electrice echivalente cu numere — de exemplu impulsuri standardizate, care pot fi puse în corespondenţă cu numerele 0 şi 1. Prin combinarea acestor semne (litere ale unui alfabet primar), se pot constitui echivalenţi ai literelor oricărui alfabet. În aceste reprezentări se pot adopta principii diferite, după cum pentru reprezentarea literelor se adoptă alfabete primare în care literele au lungimi diferite sau au toate aceeaşi lungime.

De exemplu, drept alfabet se poate adopta o succesiune de numere binare, în care nu se figurează zerourile nesemnificative, situate la stînga celui mai la stînga 1, scriind de exemplu 10 în loc de 0010.

Un astfel de alfabet este constituit, de exemplu, de succesiunea

0, 1, 10, 11, 100 etc.

Dar în acest alfabet nu se poate diferenţia 10 ca literă independentă de succesiunea celor două semne 1 şi 0, care dă, de asemenea 10.

În legătură cu aceasta trebuie observat, că de fapt, spaţiul dintre cuvinte, utilizat în mod curent în scriere, este tot o literă a alfabetului nostru. În alfabetele cifrice (formate din cifre), se acordă şi spaţiului un simbol cifric. Alfabetul trebuie să per-

Scanned with OKEN Scanner

mită însă, în orice caz, separarea mesajelor în literele componente.

Tocmai din această cauză, pentru formarea unui alfabet, din totalitatea numerelor binare se reţin numai unele care au proprietatea de a putea fi alăturate oricum, şirul rezultant putînd fi apoi despărţit, în litere, fără echivoc.

3. O metodă utilizată de mult timp în practica alfabetelor cu litere de lungimi variabile este exemplificată de alfabetul Morse, unde orice literă este reprezentată printr-o combinaţie de linii, puncte şi spaţii care constituie alfabetul primar.

Putem reprezenta punctul prin combinaţia 10, linia prin 110, spaţiul dintre litere prin 0, şi spaţiul dintre cuvinte prin 00. În acest mod orice succesiune de litere poate fi despărţită fără echivoc, în grupurile de semne primare care constituie literele respective. Iată ce devin, în acest alfabet, cîteva litere:

a 10110	*b* 110101010	*c* 1101011010
d 1101010	*e* 10	*f* 101011010

spaţiul dintre litere 0 spaţiul dintre cuvinte 00

ca şi cuvîntul *fac*

$$10101101001011001101011010 00,$$

care poate fi despărţit foarte uşor în litere, observînd că o literă se termină totdeauna printr-un grup de cel puţin două semne 0.

4. În alfabetele de lungime finită, fiecare literă este constituită din acelaşi număr de simboluri primare 0 şi 1. Pentru a se putea reprezenta toate cele N litere ale unui alfabet, este necesară utilizarea blocurilor formate din cel puţin

$$\lg_2 N + 1$$

semne primare.

Pentru a se reda 26 de litere, sînt deci necesare şi suficiente blocuri de cinci semne, ca în sistemul telegrafic Baudot.

Se va scrie deci:

$a = 00001,$	$\breve{a} = 00010,$	$b = 00011$
$c = 00100,$	$d = 00101,$	$e = 00110$
$f = 00111$	etc.	

Cuvîntul *fac* se scrie

$$001110000100100$$

care poate fi despărţit în litere fără nici o greutate.

Problema codurilor prezintă un interes deosebit pentru transmiterea informaţiei şi deci pentru cibernetică în general.

Scanned with OKEN Scanner

8. TRANSMITEREA INFORMAȚIEI

Pentru transmiterea informației se recurge la semnale. Se poate spune că într-un mediu dat apare un semnal atunci cînd se modifică una din mărimile caracteristice ale mediului respectiv, într-un punct dat. Astfel, de exemplu, în cazul recepționării semnalelor de radio, variază în timp intensitatea cîmpului electromagnetic; în cazul semnalelor telefonice și telegrafice variază intensitatea curentului electric. Dar, la fel de bine, se poate realiza o transmitere de informație prin semnale luminoase, termice, olfactive, gustative etc.

Datorită proprietăților lor, și anume viteză foarte mare de propagare și ușurința de a fi prelucrate și conservate, astăzi se utilizează pe o scară foarte mare semnalele electrice. În cazul undelor de radio se recurge la semnale cu variație sinusoidală în timp — sau după cum se mai numesc, cu *variație armonică în timp*.

Un astfel de semnal este de forma

$$a = A \sin (\omega t + \varphi_0),$$

unde a este valoarea instantanee a semnalului, A amplitudinea, ω pulsația, iar φ_0 faza.

Rezultă de aici că un semnal armonic este caracterizat prin trei mărimi, și anume: *amplitudine*, *pulsație* și *fază*.

Pentru transmiterea unui semnal se poate recurge la modificarea valorii oricăruia din acești trei parametri.

Cazul cel mai simplu este acela al variației în timp a amplitudinii. În acest caz, amplitudinea variază în timp după o lege cunoscută

$$A = A(t).$$

De obicei amplitudinea variază asemănător cu semnalul care trebuie transmis. Dacă se notează prin $f(t)$ semnalul care trebuie transmis, atunci amplitudinea variază după legea

$$A = A_0 (1 + m f(t)),$$

unde m este așa-numitul *grad de modulație*.

Deci, în cazul unui semnal modulat în amplitudine cu un semnal sinusoidal, se poate scrie:

$$a = A(1 + m \sin pt) \sin \omega t.$$

În fig. 8.1,*a* se reprezintă variația în timp a semnalului care trebuie transmis, unda purtătoare, precum și variația semnalului modulat în amplitudine.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul în care variază frecvența semnalului, situația se prezintă ca în fig. 8.1. *b*.

Analog se prezintă și cazul modulației de fază (fig. 8.1, *c*). În legătură cu aceasta, trebuie însă observat că, de fapt, lucrurile se prezintă puțin mai complicat în această situație.

Este uzual ca, înainte de a se da o caracterizare modulației de frecvență, să se introducă noțiunea de *fază instantanee*.

Dacă se notează cu φ această fază, atunci se observă că, deoarece

$$\varphi = \omega t + \varphi_0,$$

pulsația este derivata în timp a fazei instantanee

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

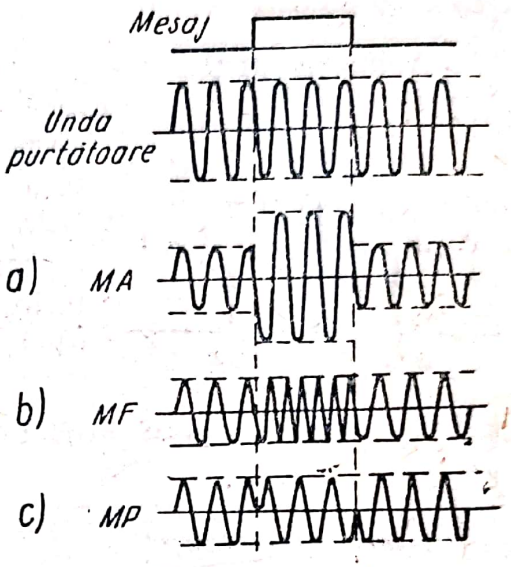


Fig. 8.1

În cazul unei mișcări circulare care se efectuează cu viteza unghiulară variabilă ω, în mod analog avem

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{sau} \quad \theta = \int_0^t \omega \, dt + \theta_0$$

unde θ este unghiul.

Rezultă de aici că dacă pulsația variază în timp, se poate scrie

$$a = A \sin \left[\int_0^t \omega (t) \, dt + \theta_0 \right].$$

În cazul deosebit de important pentru practică, al unei situații în care semnalul de transmis are o variație sinusoidală de pulsație p, se va putea scrie

$$a = A \sin [b \cos pt + c].$$

Este interesant de comparat cazul modulației de amplitudine și al modulației de frecvență, pentru cazul unui semnal modulator sinusoidal.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul semnalelor cu modulaţie de amplitudine, prin transformări trigonometrice simple, se poate scrie

$$a = \frac{1}{2} mA \cos(\omega - p)t + A \sin \omega t - \frac{1}{2} mA \cos(\omega + p)t.$$

Aceasta arată că un semnal de pulsaţie ω, modulat în amplitudine cu un semnal de pulsaţie p, poate fi considerat ca rezultînd din suprapunerea a trei semnale sinusoidale, avînd respectiv pulsaţiile $\omega - p$, ω, $\omega + p$. În fig. 8.2, *a* se dă o reprezentare grafică a acestor trei semnale, care constituie aşa-numitul spectru al semnalului $a(t)$.

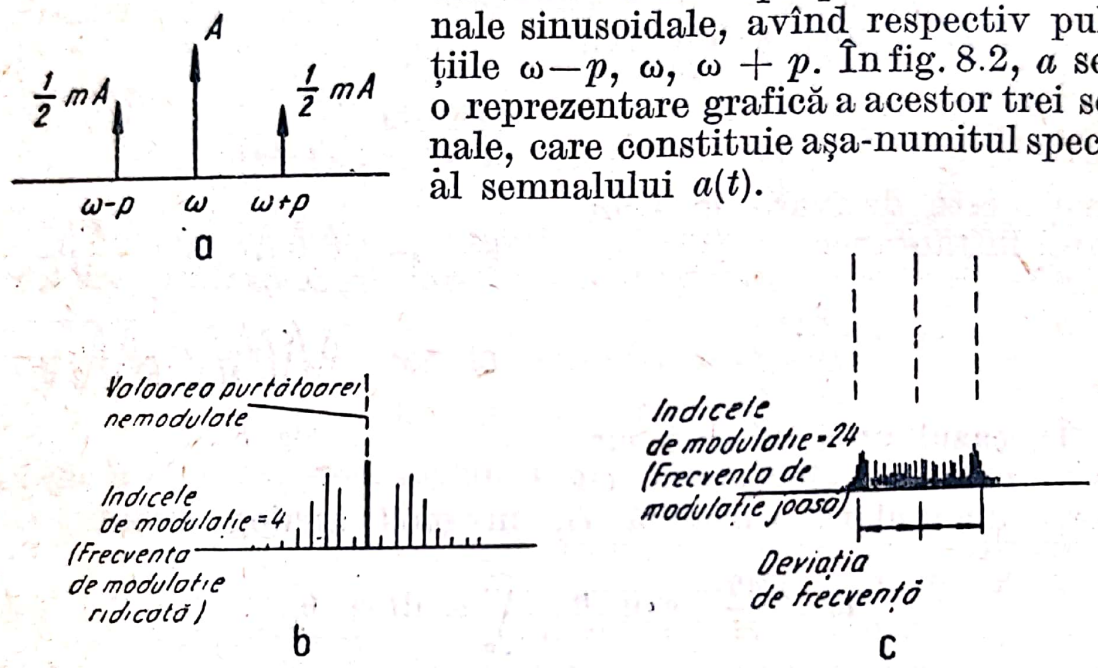


Fig. 8.2

Matematic se poate arăta că şi un semnal cu modulaţie de frecvenţă sau de fază, la care semnalul modulator este un semnal armonic în timp, poate fi descompus într-un număr de semnale sinusoidale de amplitudine constantă. Dar, spre deosebire de semnalele modulate în amplitudine, cele modulate în frecvenţă sau în fază au un spectru infinit, distanţa dintre două componente vecine fiind mai departe p.

În fig. 8.2, *b* şi *c* se reprezintă spectrele de frecvenţă ale unor astfel de semnale.

Alături de semnalele cu modulaţie continuă de amplitudine, fază sau frecvenţă, un rol important revine semnalelor modulate în impulsuri. Pentru a înţelege însă mai bine această noţiune, este necesar ca în prealabil să ne referim la anumite proprietăţi generale ale semnalelor periodice.

Scanned with OKEN Scanner

Prin definiție, un semnal $f(t)$ se numește *periodic* dacă există un număr T, astfel încît să se poată scrie

$$f(t + T) = f(t), \quad T \neq 0$$

pentru orice t.

Cel mai mic număr T care se bucură de această proprietate și care este diferit de zero se numește perioadă a funcției $f(t)$.

O proprietate importantă a funcțiilor periodice este că în condiții suficient de largi (cunoscute sub numele de condițiile lui Dirichlet), orice funcție periodică poate fi obținută din suprapunerea unei funcții armonice, avînd frecvența un multiplu întreg al frecvenței fundamentale ω :

$$f(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos (n\omega t + \varphi_n).$$

unde A_n este amplitudinea componentei a n — a, iar φ_n faza acestui semnal.

Totalitatea componentelor armonice în care poate fi descompus un semnal periodic constituie așa-numitul *spectru* de frecvențe al semnalului respectiv.

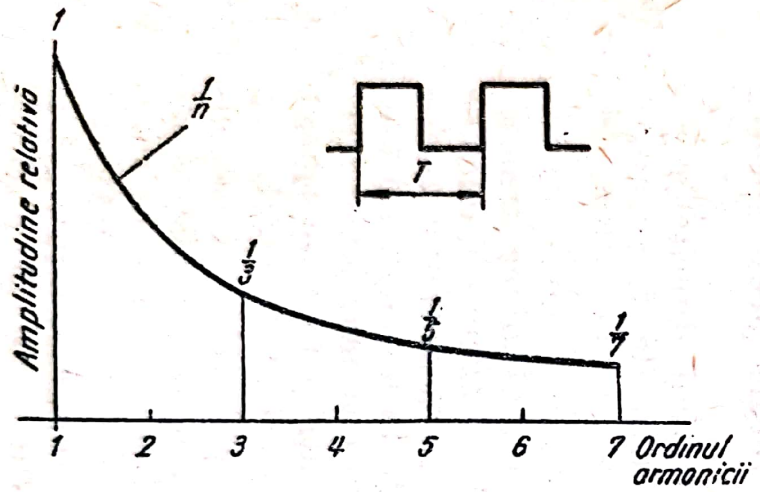
Spectrele au aspecte diferite, după natura fenomenului analizat. În fig. 8.3, *a* și *b* se reprezintă spectrul și sinteza unei funcții periodice teoretice. În fig. 8.3, *c* este reprodus spectrul semnalului acustic produs de un claxon, iar în fig. 8.3, *d* se redă spectrul corespunzînd unei vocale (acest spectru a fost obținut experimental).

În fig. 8.3, *e* se arată variația amplitudinii diferitelor armonici ale unui impuls radio dreptunghiular de frecvență f_0 și durată τ.

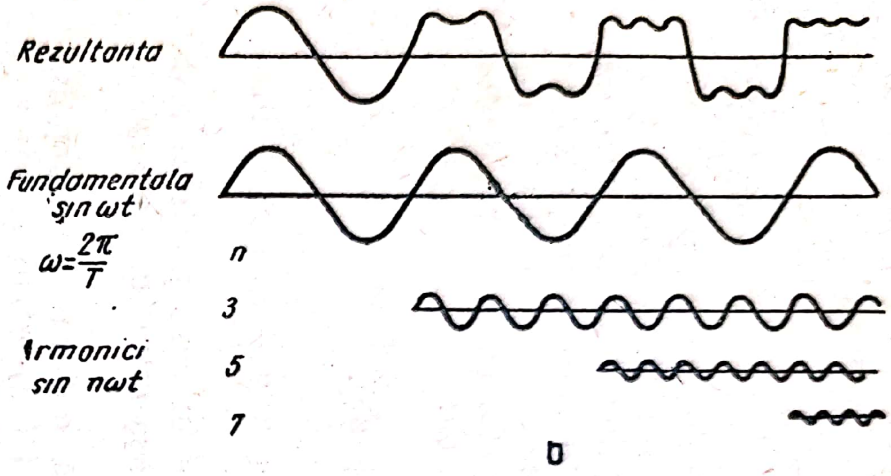
Se remarcă faptul că cu cît impulsul este mai îngust, cu atît spectrul lui este mai bogat, în sensul că amplitudinea armonicilor scade mai încet cu rangul lor. Astfel, de exemplu, dacă se urmărește ca dintr-o anumită descompunere să se rețină numai armonicile pentru care amplitudinea scade la un sfert din amplitudinea fundamentalei (componenta de cea mai joasă frecvență), atunci, cu cît impulsul este mai ascuțit, cu atît se ajunge mai greu la această situație, deci spectrul este mai bogat.

Alături de semnalele periodice este însă necesar să se considere și semnale neperiodice. De fapt, în natură nu există semnale periodice, deoarce semnalele periodice durează în timp de la minus infinit pînă la plus infinit, ceea ce în realitate nu se poate obține. Este însă important de subliniat faptul că și pentru semnalele neperiodice care intervin uzual în practică

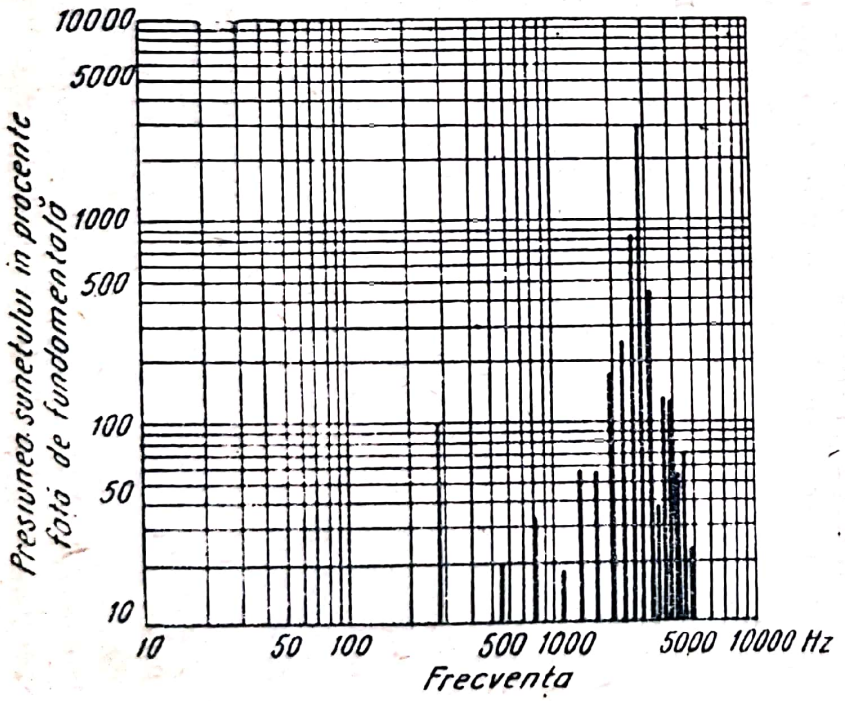
Scanned with OKEN Scanner


Amplitudine relativă
1
1/n
1/3
1/5
1/7
T
1 2 3 4 5 6 7 Ordinul armonicii

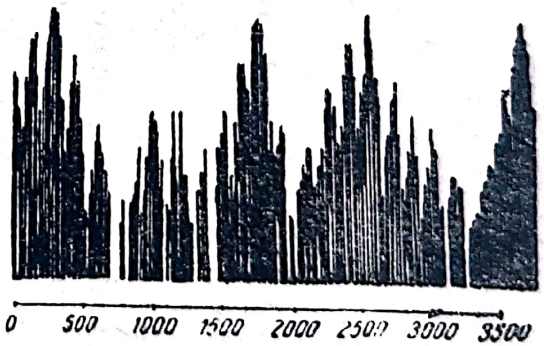
a


Rezultanta
Fundamentala sin ωt
ω=2π/T
Armonici sin nωt
n
3
5
7

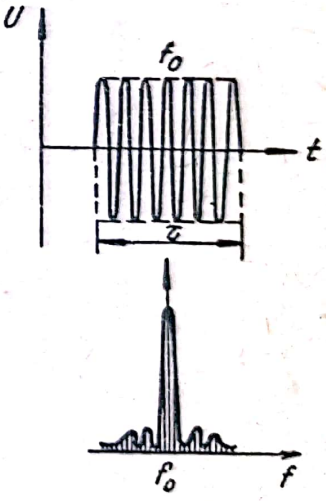
b


Presiunea sunetului în procente față de fundamentală
10000
5000
1000
500
100
50
10
10 50 100 500 1000 5000 10000 Hz
Frecventa

c


0 500 1000 1500 2000 2500 3000 3500

d


U
f0
t
τ
f0
f

e

Fig. 8.3

se poate stabili o descompunere în funcții sinusoidale, cu singura diferență că, în acest caz, nu mai avem de-a face cu un spectru discret, cum era în cazul semnalelor periodice, ci cu un spectru continuu.

Evident că această particularitate a semnalelor neperiodice face ca reconstituirea lor din semnale periodice să apară mai dificilă.

În realitate, însă, toate semnalele întîlnite în practică — atît periodice cît și neperiodice — se caracterizează prin aceea că sînt cu spectru limitat.

Dar sistemele fizice nu pot transmite un spectru oricît de larg de frecvențe. Astfel, pe de o parte, în domeniul frecvențelor superioare intervine inerția sistemelor de transmitere care nu permit trecerea unor frecvențe prea înalte. La fel, în domeniul frecvențelor joase, intervin alte cauze care în general limitează spectrul transmis.

De exemplu, atmosfera terestră nu permite trecerea razelor ultraviolete care sînt oprite. Din radiația solară, pe Pămînt ajung numai razele care au frecvențele limitate la spectrul vizibil și puțin din spectrul radio.

Această proprietate este deosebit de importantă, deoarece indică faptul că toate semnalele întîlnite în practică sînt cu spectru limitat superior.

O importantă teoremă de analiză matematică arată că orice funcție cu spectru limitat, a cărui frecvență maximă este F, poate fi reconstituită în întregime, considerîndu-se numai valorile pe care le ia funcția la anumite momente situate unele de altele la intervale de timp de cel mult $1/2F$.

Această teoremă este cunoscută și sub numele de *teorema eșantionării*.

Din moment ce atît funcțiile periodice cît și cele neperiodice, pot fi reconstituite din anumite eșantioane, apar posibilități noi în ceea ce privește transmiterea semnalelor.

Teorema eșantionării are o explicație fizică simplă. Anume, este vorba de faptul că, deoarece spectrul funcției este limitat la componente de frecvență maximă F, atunci cele mai rapide variații în funcția respectivă se pot întîlni în intervalul de timp care corespunde între un maxim și un minim al acestei componente. Dar, deoarece acest interval de timp corespunde tocmai unei jumătăți de perioadă a unei funcții de frecvență F, rezultă că intervalul de timp este $1/2F$.

O funcție cu spectru limitat și reprezentarea sa prin „eșantioane" se redă în fig. 8.4, *a* și *b*. Limitînd spectrul eșantioa-

Scanned with OKEN Scanner

nelor, ele capătă forma din fig. 8.4 *c*; suprapunîndu-le, se obţine curba din fig. 8.4, *d*.

Rezultate interesante în legătură cu unele teoreme de eşantionare au fost obţinute de conf. *Chr. Vasiliu*.

Datorită teoremei eşantionării, rezultă posibilitatea înlocuirii semnalelor continue prin anumite eşantioane luate la intervale de timp. În cazul în care, din funcţia dată se reţin şi se transmit semnale la care frecvenţa de repetiţie este constantă, şi amplitudinea variază proporţional cu funcţia modulatoare, se vorbeşte de *impulsuri modulate în amplitudine* (fig. 8.5, *a*).

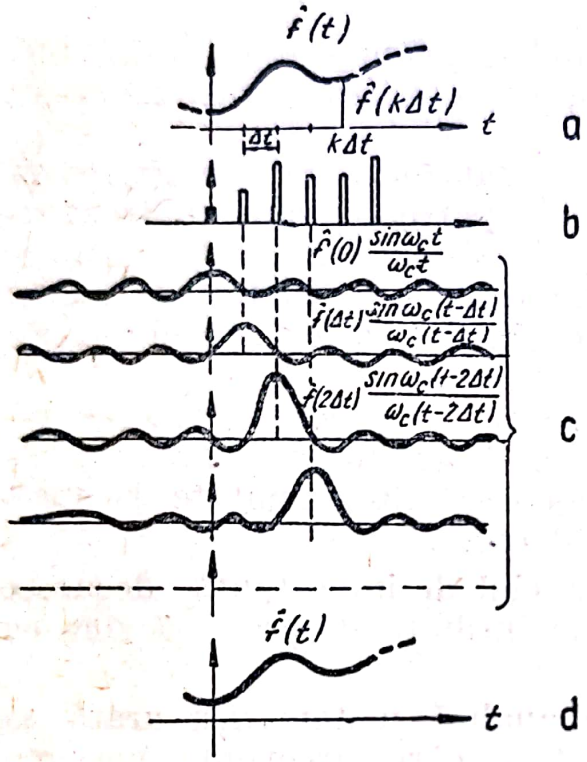
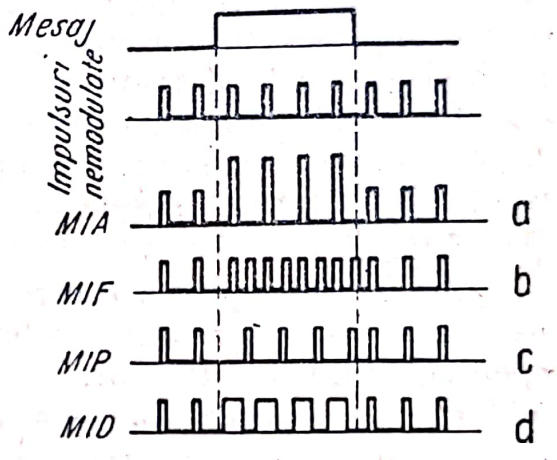


Fig. 8.4



Fig, 8.5

În cazul în care amplitudinea semnalelor rămîne constantă, dar frecvenţa lor de repetiţie variază în funcţie de semnalul modulator, se vorbeşte de *impulsuri modulate în frecvenţă* (fig. 8.5, *b*).

Se menţionează faptul că în sistemul nervos, de-a lungul axonului neuronilor, semnalele se prezintă sub forma unor impulsuri modulate în frecvenţă.

Dar există, evident, şi posibilitatea de a modula impulsurile *în fază*, făcînd ca ele să se succeadă în timp, la intervale variabile, poziţia lor faţă de poziţia pe care ar avea-o în absenţa semnalului modulator fiind o funcţie de valoarea acestui semnal. (fig. 8.5, *c*).

În realitate, însă, impulsurile nu sînt infinit de subţiri, ci au o durată finită. Apare de aici posibilitatea unui nou sis-

tem de modulare, şi anume acela în care variază *durata* impulsului, în funcţie de semnalul modulator (fig. 8.5, *d*).

În legătură cu sistemele de transmitere a informaţiei prin modulaţie de impulsuri, este necesar să amintim şi de sistemele de *modulaţie digitală*. În aceste sisteme, semnalul de

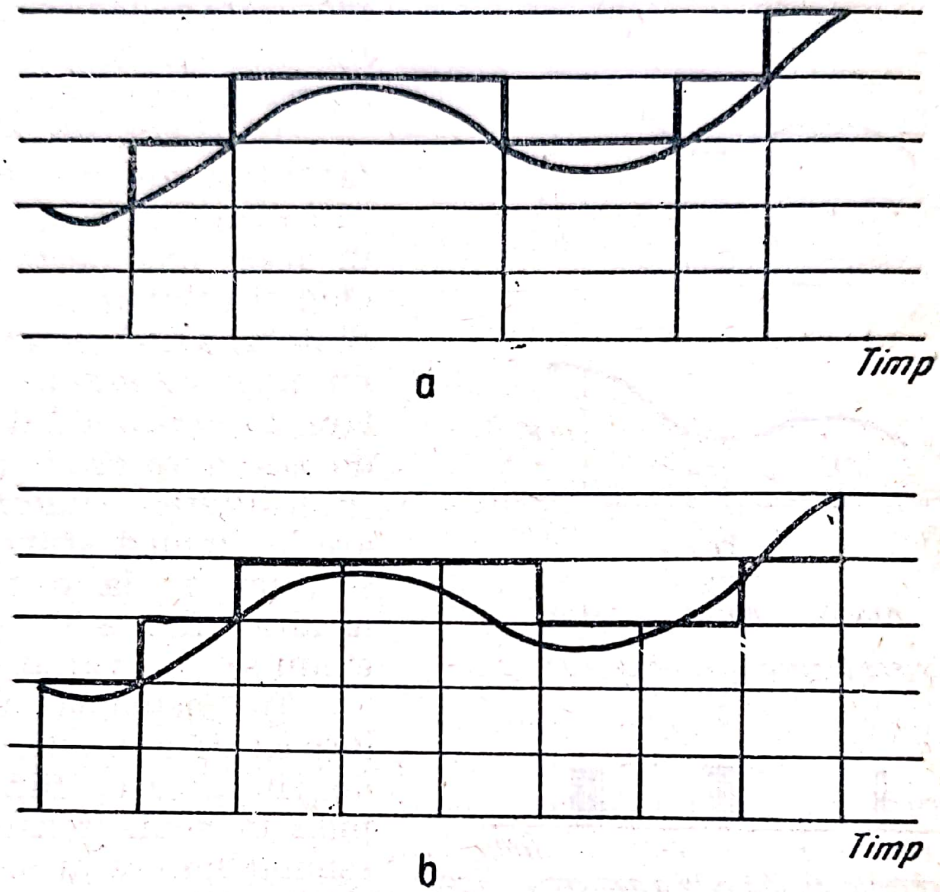


Fig. 8.6

transmis este în prealabil cuantificat, în sensul că în loc de a transmite semnalul cu o variaţie continuă, se transmite un semnal care aproximează semnalul real. Aproximarea se face aşa după cum se arată în fig. 8.6.

În ambele variante, semnalul este înlocuit prin semnale de valoare constantă. În primul caz, trecerea se face de la o treaptă la alta numai atunci cînd semnalul real depăşeşte valoarea unei trepte de cuantificare (fig. 8.6, *a*). În al doilea caz trecerea se face numai la anumite intervale regulate de timp (fig. 8.6, *b*).

O dată semnalul cuantificat, apare posibilitatea transmiterii unei informaţii care să indice treapta atinsă într-un anumit moment. Cu alte cuvinte, în loc să se transmită un semnal de o anumită valoare, care să depindă de valoarea din acel

Scanned with OKEN Scanner

moment a semnalului modulator, se transmite un grup de semnale care indică numărul treptei respective. Acesta este așa-numitul sistem de *modulare în cod de impulsuri*. Semnalul din fig. 8.7, *a* este cuantificat și eșantionat ca în fig. 8.7, *b*; scrierea binară a valorilor măsurate se dă în fig. 8.7, *c*, iar în fig. 8.7, *d* se dă reprezentarea digitală.

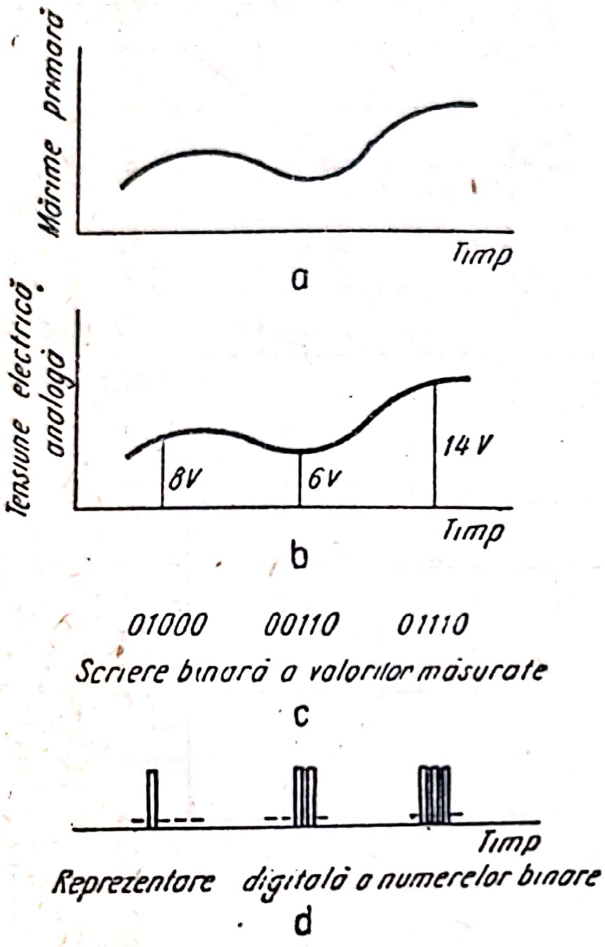


Fig. 8.7

În sfîrșit, se observă faptul că nu este necesar să se transmită informație în acest caz decît atunci cînd nivelul atins variază. Sîntem astfel conduși la un nou sistem de modulare, la așa-numitul sistem de *modulare delta*, la care transmiterea informației are loc numai atunci cînd se trece de la o treaptă la alta (fig. 8.8), producîndu-se o variație Δu.

În sistemele fiziologice există anumite organe de simț, care, fiind dispuse în ochi, transmit un semnal numai atunci cînd variază brusc intensitatea iluminării retinei. Este vorba de așa-numitele elemente „off", care semnalează încetarea excitării luminoase, precum și de elementele „on și off", care semnalează începutul și sfîrșitul excitării.

Desigur că în fața acestei multitudini de posibilități de transmitere a semnalelor, în mod firesc se pune problema unei clasificări din punctul de vedere al calității realizate de diferitele sisteme de modulație.

Este clar că un sistem cu modulații în amplitudine ocupă, în mod obișnuit, un spectru mic, în comparație cu un semnal modulat în frecvență. În schimb, însă, se poate arăta teoretic că semnalele cu modulație de frecvență se caracterizează prin aceea că asigură o calitate mult mai bună a transmiterii, în sensul că ele sînt mult mai puțin influențate de perturbații. Acest fapt poate fi foarte ușor verificat experimental, comparînd

Scanned with OKEN Scanner

între ele transmisiunile pe unde medii şi cele pe unde ultrascurte — în primul caz fiind vorba de semnale modulate în amplitudine, şi în al doilea caz, de semnale modulate în frecvenţă. Incontestabil că în cazul semnalelor recepţionate pe unde ultrascurte, calitatea este net superioară.

Tot în legătură cu aceste posibilităţi ale diferitelor sisteme de modulare, trebuie menţionat faptul că în cazul sistemelor

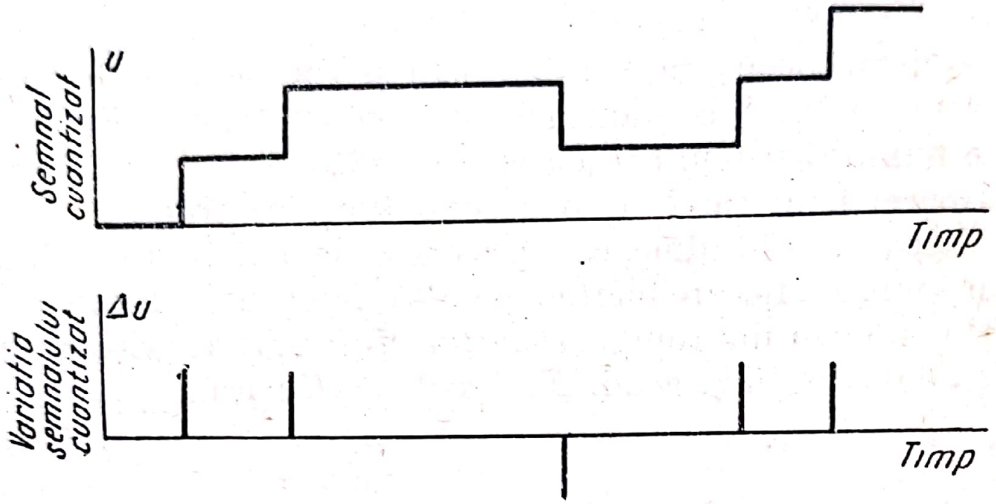


Fig. 8.8

de modulare în impulsuri apare şi o posibilitate nouă, anume aceea de utilizare multiplă a unui sistem de comunicaţie, prin aşa-numitul sistem de *diviziune în timp*. Ideea este cît se poate de simplă. Din moment ce pentru transmiterea unui semnal de frecvenţă maximă F este necesar să se transmită numai semnale sub forma unor eşantioane situate la intervale de timp $1/2F$, apare posibilitatea transmiterii pe canalul respectiv, între două impulsuri corespunzînd unui anumit mesaj, impulsurile unui alt mesaj sau ale unor alte mesaje.

Aceasta duce, desigur, la o utilizare superioară a sistemelor de comunicaţii. Acest procedeu este utilizat în mod curent în sistemele tehnice. El se mai aplică, în unele cazuri, şi în psihologie; în cazul atenţiei distribuite, atunci cînd sîntem atenţi simultam la mai multe evenimente, de fapt ne comutăm foarte repede atenţia cînd pe un eveniment cînd pe celălalt, şi trecerea se face suficient de repede pentru a se obţine impresia de continuitate.

Studiul teoretic comparativ al diferitelor sisteme de modulaţie se face ţinînd seama de condiţiile reale în care are loc transmisiunea şi, în particular, de influenţa zgomotului.

Trebuie remarcat faptul că în sistemele fiziologice informaţia se transmite prin impulsuri modulate în frecventă.

Scanned with OKEN Scanner

Aceasta asigură o dependență foarte mică a semnalelor de eventualele perturbații care pot apărea.

În momentul de față s-a dezvoltat cu succes un nou capitol al științei referitor la determinarea acelor metode care permit recepționarea unor semnale a căror amplitudine este mai mică decît nivelul perturbațiilor. Tocmai astfel de sisteme se utilizează cu succes în radiolocație și în comunicațiile interplanetare, precum și în radar.

Se menționează faptul că există și alte sisteme de transmitere a mai multor comunicații pe o singură linie. Este vorba de așa-numitul sistem cu „curenți purtători" (sau cu „frecvențe purtătoare"), în care, pe o aceeași linie, se transmit semnale modulate în amplitudine, care provin de la mai multe emițătoare de mică putere, fiecare lucrînd pe altă frecvență. Ideea aceasta aparține inginerului romîn *Augustin Maior*. La această problemă a adus contribuții și acad. *N. Vasilescu-Karpen*.

9. NEUROCIBERNETICA

Prin neurocibernetică se înțelege interpretarea cibernetică a funcționării sistemului nervos. Acest studiu se poate face plecînd de la neuron.

Neuronul este elementul de bază al sistemului nervos. El este format dintr-un corp, numit *soma*, care are mai multe prelungiri (fig. 9.1). Dintre acestea una se numește *axon* și reprezintă sistemul de transmitere la distanță a mesajelor neuronului; celelalte prelungiri se numesc *dendrite* și formează, împreună cu corpul neuronal, porțiunea receptoare a neuronului. La neuron sosesc terminațiile altor neuroni. Contactul dintre neuroni se realizează prin intermediul unor formații anatomice numite *sinapse*, care se situează atît pe corpul neuronului cît și pe dendrite. În sistemul nervos există și alte tipuri de neuroni, de exemplu ca cel reprezentat în fig. 9.2.

În ansamblu, neuronul poate fi considerat ca un sistem de telecomunicații, fiind, de fapt, unul dintre cele mai mici sisteme de telecomunicații. La om, dimensiunile corpului neuronal sînt, în medie, de 25—50 μ. Axonul însă are lungimi variabile; în interiorul retinei el are cîțiva microni, în timp ce nervul

Scanned with OKEN Scanner

sciatic, la om sau la animale, poate atinge lungimi de ordinul de mărime al metrului.

Faptul că neuronul poate fi considerat ca un sistem de telecomunicaţii rezultă din aceea că neuronul are o serie de intrări şi ieşiri de la care există semnale.

În mod normal, semnalele care stimulează neuronul sînt produse de o serie de substanţe chimice din sinapse. Aceste substanţe se numesc *intermediari chimici*, în sensul că în timp ce de-a lungul axonului importante sînt semnalele electrice care se propagă, de la un neuron la altul semnalele se transmit prin intermediul unor substanţe chimice. Se cunosc diferiţi intermediari chimici, ca acetilcholina (principalul intermediar chimic), noradrenalina, dopamina, serotonina.

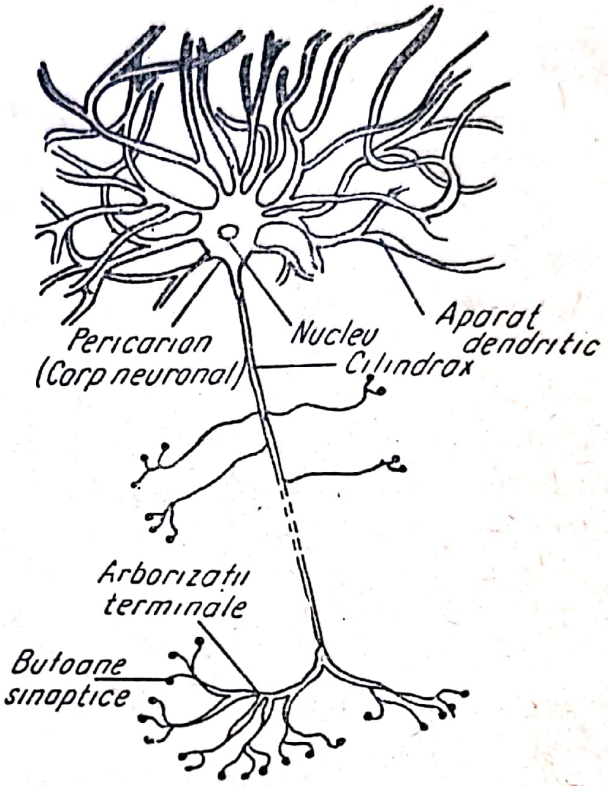


Fig. 9.1

Fig. 9.2

Funcţionarea sinapsei va fi urmărită mai departe. Deocamdată trebuie reţinut faptul că, atunci cînd neuronul este excitat cu o cantitate suficient de mare de intermediar chimic, pe axoni se produc impulsuri electrice, care au toate aceeaşi amplitudine, dar a căror frecvenţă de repetiţie depinde de intensitatea excitaţiei.

Neuronul nu funcţionează niciodată izolat. În sistemul nervos central el este totdeauna inclus într-o *reţea neuronală*. Astfel, fiecare neuron primeşte informaţii de la unul sau mai mulţi neuroni care au terminaţii axonale pe acest neuron, şi dă informaţii prin propriile sale terminaţii axonale.

Deoarece în fiecare neuron informaţia se transmite de-a lungul axonului prin semnale *electrice* modulate în frecvenţă, şi de la un neuron la altul, semnalele se transmit prin *inter-*

Scanned with OKEN Scanner

mediari chimici, rezultă că un lanț de neuroni este echivalent cu un lanț format din dispozitive electrice și chimice, dispuse alternativ.

Din punct de vedere cibernetic, sistemul de telecomunicații format de un neuron poate fi considerat ca începînd de la

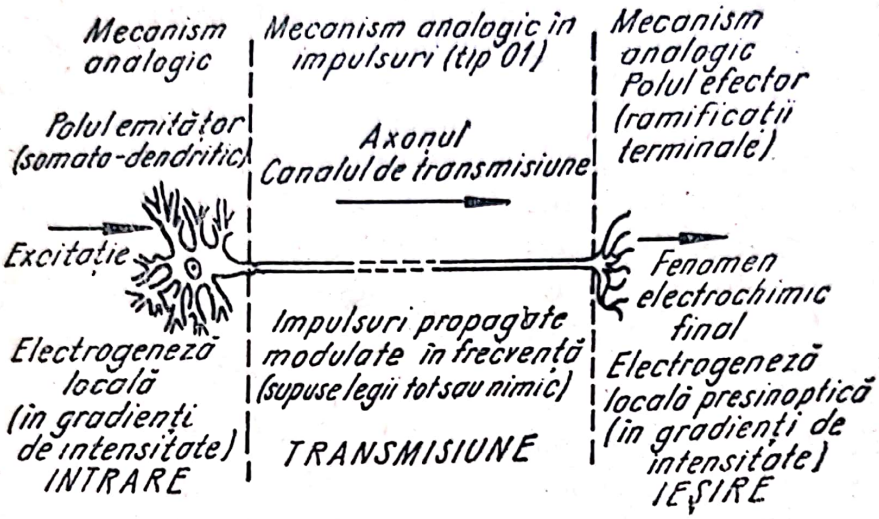


Fig. 9.3

ieșirea din neuronul precedent și sfîrșind la terminațiile sale axonale (fig. 9.3).

În cele ce urmează, transmiterea informației în neuron se va considera începînd de la intrare, adică de la sinapsă.

Sinapsa este un element anatomic care asigură transmiterea informației de la un neuron la elementul asupra căruia se exercită acțiunea acestui neuron. În unele cazuri, neuronul trimite informația la alt neuron. Dar acesta nu este singurul caz posibil, deoarece admițînd această situație, am avea de-a face numai cu un sistem de neuroni care nu acționează asupra nici unui organ efector. Însă organismele nu sînt reduse numai la sistemul nervos, și cum, pe de altă parte, celelalte elemente sînt influențate de sistemul nervos, există sinapse care permit transmiterea informației de la un neuron la o celulă musculară sau la o celulă secretorie, sau la un organ electric (acest ultim caz se întîlnește în special la peștele „torpila electrică").

Indiferent de forma sau de dimensiunile lor, sinapsele se compun din următoarele elemente (fig. 9.4) :

a) o *membrană presinaptică*, care se află în continuarea membranei axonale a neuronului presinaptic, de la care vine informația ; b) o *membrană postsinaptică*, dispusă în continuare cu membrana care acoperă corpul și dendritele (membrana

somatodendritică) la care se transmite informaţia. În cazul în care sinapsa nu acţionează asupra unui alt neuron, membrana postsinaptică se află în continuare cu membrana organului efector;

c) *fanta sinaptică*, care nu comunică cu exteriorul şi care separă cele două membrane menţionate anterior.

Membrana presinaptică poate fi considerată ca intrarea în sistemul de transmisiune constituit din neuron. Mărimea de intrare este reprezentată de impulsurile nervoase de pe axon. Parametrul care defineşte mărimea de intrare este perioada de repetiţie a impulsurilor.

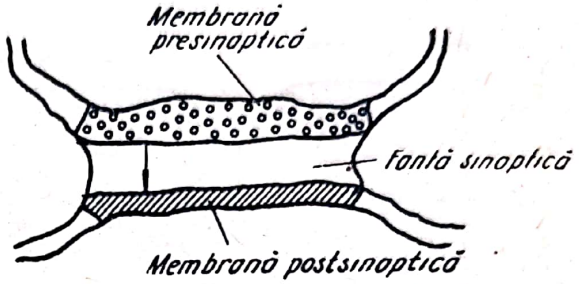


Fig. 9.4

Membrana presinaptică funcţionează ca un traductor, traducînd perioada de repetiţie a impulsurilor într-un flux de molecule de intermediar chimic eliberat în fanta sinaptică.

Fenomenele care au loc în această fantă sînt complexe.

În primul rînd se observă o difuzie a moleculelor de intermediar chimic în lichidul din fanta sinaptică (este acelaşi fenomen ce are loc cînd se introduce sare în apă; sarea, din punctul în care a fost introdusă, difuzează în întreaga masă a lichidului). În al doilea rînd intervine o acţiune a unei aşa-numite *contrasubstanţe*, care distruge moleculele de intermediar. În cazul sinapselor cu acetilcholină, contrasubstanţa se numeşte acetilcholinesterază.

Rolul contrasubstanţei este simplu: dacă nu ar exista contrasubstanţa, atunci intermediarul ar rămîne mereu în sinapsă, excitînd în permanenţă neuronul următor.

Efecte combinate ale difuziei şi distrugerii intermediarului fac ca la membrana presinaptică să nu ajungă toate moleculele de intermediar eliberate de neuronul precedent.

În orice caz, după ce au străbătut spaţiul sinaptic, moleculele de substanţă activă ajung la suprafaţa membranei postsinaptice, de care se fixează, provocînd apariţia — pe membrana postsinaptică — a unor fenomene electrochimice. Se poate considera că aceste molecule de intermediar chimic modifică permeabilitatea membranei, ceea ce duce la schimbarea concentraţiilor de ioni de sodiu şi potasiu din interiorul neuronului. Ca rezultat, pe membrana neuronului postsinaptic apare un potenţial electric, care se transmite din aproape în aproape,

Scanned with OKEN Scanner

amplitudinea lui micşorîndu-se pe măsură ce se depărtează de sinapsa considerată.

O atenţie specială trebuie dată punctului în care axonul se leagă de corpul neuronal, deoarece valoarea potenţialului din acel punct are o importanţă deosebită pentru întregul sistem. Anume, dacă excitarea neuronului este slabă, atunci

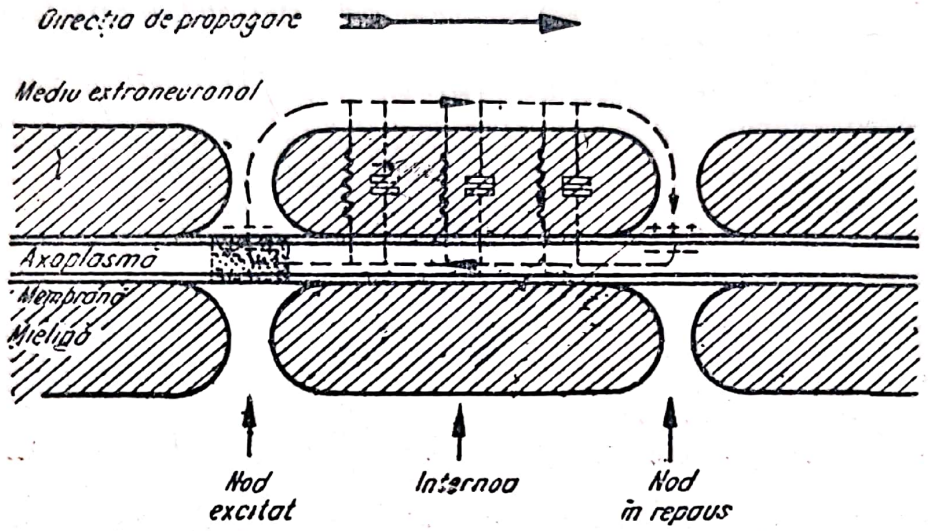


Fig. 9.5

potenţialul acestui punct creşte porporţional cu excitaţia Dacă însă potenţialul rădăcinii axonului depăşeşte o valoare-prag, atunci se produce un fenomen prin care apare brusc o mare diferenţă de potenţial între interiorul şi exteriorul membranei axonale. Cu alte cuvinte se produce un impuls electric care începe să se propage din aproape în aproape de-a lungul axonului.

În ceea ce priveşte viteza de propagare a impulsurilor de-a lungul axonului, ea este variabilă, fiind în unele cazuri de ordinul zecilor de centimetri pe secundă, aşa cum se întîmplă la axonii animalelor inferioare. În acest caz, impulsurile electrice se propagă de-a lungul axonului, din aproape în aproape. Viteza depinde de diametrul axonului (fibrei), fiind cu atît mai mare cu cît diametrul este mai mare.

Acest mecanism nu este însă convenabil pentru transmiterea impulsurilor de-a lungul unor axoni cu lungime mare, deoarece ar produce întîrzieri mari între momentul excitării şi momentul ieşirii semnalului din neuron. Tocmai de aceea, la animalele superioare, axonul este înconjurat de o teacă de substanţă izolatoare numită *mielină* (fig. 9.5).

Scanned with OKEN Scanner

Teaca de mielină nu este continuă de-a lungul axonului, avînd din loc în loc anumite strangulări, numite *noduri ale lui Ranvier*.

În cazul fibrelor cu mielină, impulsurile nu se mai propagă din aproape în aproape, ci din nod în nod, prin salturi, viteza de propagare fiind de cîţiva metri pe secundă.

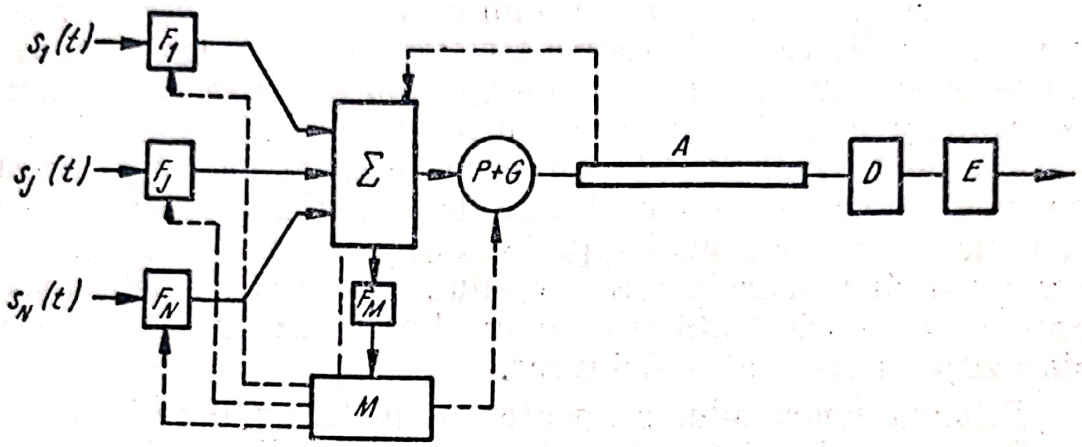


Fig. 9.6

Trebuie subliniat faptul că viteza semnalelor electrice prin conductori este cu mult mai mare, apropiindu-se în unele cazuri de viteza de propagare a luminii în vid (aproximativ 300 000 km/s). Aceasta se explică prin faptul că, în timp ce la conducţia prin metale intervin electronii liberi care au o masă foarte mică, în cazul propagării impulsurilor pe axon intervin mecanisme ionice. Or, se ştie că ionii au mase mari şi deci o inerţie cu mult mai mare decît a electronilor.

Ajunse la extremitatea axonului, impulsurile sosesc la terminaţiile axonale, în care se produce o nouă transformare a lor. Este vorba despre operaţia de *decodare*, prin care se trece de la parametrul „frecvenţă de repetiţie a impulsurilor", la un potenţial electric care variază continuu, în funcţie de acest parametru.

Pentru neuron, se poate da deci o schemă logică, aşa cum se arată în fig. 9.6. În această schemă logică există în primul rînd un dispozitiv de însumare, care face ca la rădăcina axonului să se însumeze acţiunile provenind de la toate sinapsele excitate la un moment dat. De la circuitul de însumare Σ se trece la un dispozitiv $P+G$ care în acelaşi timp este un dispozitiv cu prag şi un generator de impulsuri. Pragul face ca semnalele dela intrare, care sînt sub o anumită valoare, să nu aibă nici un efect asupra axonului. Dacă însă suma semnalelor

sosite la neuron depăşeşte o anumită valoare, atunci generatorul este pus în funcţiune şi, de-a lungul axonului, se propagă impulsurile modulate în frecvenţă.

Axonul constituie canalul de comunicaţie al sistemului considerat. Semnalele sînt decodate în D şi acţionează asupra organului efector E.

În acelaşi timp, însă, neuronul este prevăzut cu dispozitive de memorie M. În unele cazuri este vorba despre un dispozitiv de memorie scurtă, care face ca efectele electrice care rezultă din stimularea unei sinapse să nu înceteze o dată cu încetarea stimulului şi să mai persiste un scurt interval de timp. Există alte mecanisme de memorie legate de timpul finit de propagare a impulsurilor de-a lungul suprafeţei neuronului, de la o sinapsă excitată şi pînă la rădăcina axonului. În sfîrşit, există mecanisme de memorie lentă şi de mare durată, în care se conservă informaţii timp mai îndelungat.

Schema neuronului se poate completa cu o serie de filtre F_i, care filtrează diferitele semnale aplicate la intrare şi cu un filtru F_M pentru dispozitiv de memorie.

Plecînd de la neuron, se pot studia reţele neuronale, formate din puţine elemente. Acest studiu se poate face la mai multe nivele de aproximare. Cel mai simplu nivel constă în înlocuirea neuronului real, printr-un neuron ipotetic, care are numai două stări posibile. Într-una din ele, neuronul nu produce nici un semnal la ieşire. În cealaltă stare, neuronul este excitat şi produce la ieşire impulsuri avînd toate aceeaşi amplitudine şi aceeaşi fecvenţă de repetiţie. Acest caz simplificat corespunde, evident, unei situaţii destul de depărtată de cea reală. Totuşi, chiar şi în acest caz, plecînd de la astfel de elemente simple, se pot construi modele de reţele neuronale care au o serie de proprietăţi ce se regăsesc şi în organismele vii.

După cum au arătat studiile de anatomie, în organisme există două tipuri de sinapse: excitatorii şi inhibitorii. În schemele care urmează, sinapsele excitatorii se vor figura prin puncte negre, şi cele inhibitorii prin puncte albe.

Neuronii se diferenţiază între ei prin praguri de excitaţie. Se consideră că pragurile sînt multipli ai unui prag fundamental. Schema unui neuron tip este dată în fig. 9.7, *a*; cifra din simbolul neuronului reprezintă pragul de excitaţie.

Schema unei reţele simple de asociaţie este reprezentată în fig. 9.7, *b*. Deoarece pragul neuronului N este 2, el nu se va descărca decît dacă sînt excitaţi *simultan* neuronii L şi M.

Scanned with OKEN Scanner

Se poate deci scrie

$$N(t+1) \equiv L(t) \,\&\, M(t),$$

ceea ce arată că starea neuronului N la momentul $t+1$ este funcție de starea neuronilor L și M la momentul t.

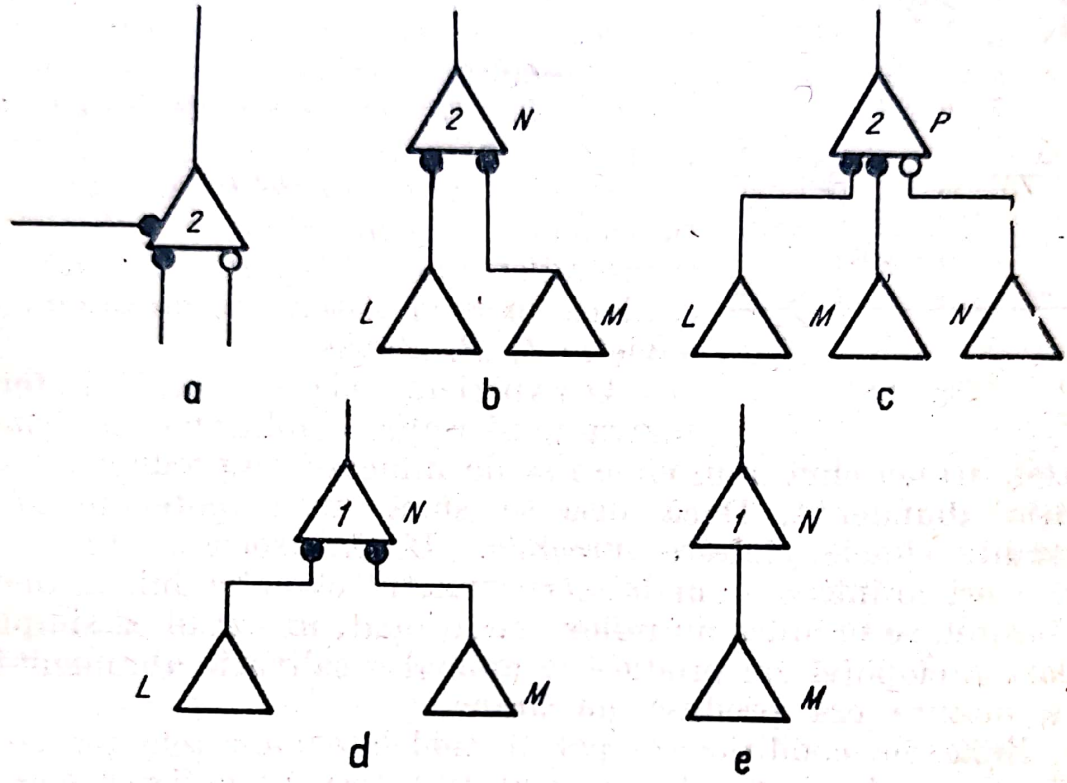


Fig. 9.7

În cazul rețelei din fig. 9.7, *c*, se poate scrie

$$P(t+1) = L(t) \,\&\, M(t) \,\&\, N'(t)$$

ținînd seama că pragul lui P este 2, și că N acționează asupra lui P printr-o sinapsă inhibitorie, deci pentru ca P să fie excitat, este necesar ca simultan L și M să excite pe P, iar N să fie în repaus.

Un exemplu de rețea care modelează operatorul SAU este prezentat în fig. 9.7, *d*. Deoarece aici toți neuronii au același prag de excitație, și anume 1, neuronul N este excitat, indiferent de faptul dacă este excitat neuronul L sau M :

$$N(t+1) = L(t) \vee M(t).$$

Schema simplă a unei rețele de întîrziere este redată în fig. 9.7, *e*. Ținînd seama de faptul că trecerea semnalului prin-

tr-un neuron este afectată de o întîrziere τ, rezultă că neuronul N va fi excitat cu o întîrziere de un tact sinaptic față de neuronul M:

$$N(t+\tau) = M(t).$$

Cu ajutorul unor astfel de neuroni se pot construi și rețele care modelează formarea reflexelor condiționate. Astfel, în fond, un reflex condiționat înseamnă memorarea unei coincidențe repetate. O astfel de rețea se prezintă schematic ca în fig. 9.8.

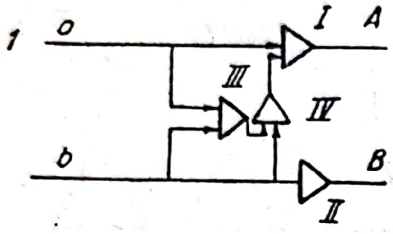


Fig. 9.8

Unul din fenomenele de bază ale funcționării sistemului nervos îl constituie reflexele condiționate, care au fost studiate în mod sistematic de savantul sovietic *I. P. Pavlov*.

O experiență clasică constă în formarea unui reflex condiționat la cîine. Astfel, atunci cînd unui cîine i se dă mîncare, se produce o salivație abundentă. Dacă însă se sună un clopoțel, în mod obișnuit, cîinele ciulește urechile. Dacă asociem de mai multe ori hrănirea animalului cu sunetul clopoțelului, atunci, cu timpul, se produce un reflex condiționat, în sensul că simpla sunare a clopoțelului produce la animal o salivație abundentă, care înainte era produsă de hrană.

Reflexele condiționate pot fi modelate cu rețele formate din neuroni de tipul celor prezentați anterior. În fig. 9.8 este reprezentată schema unui astfel de model.

Atunci cînd asupra sistemului acționează un stimul a, aplicat la intrarea neuronului I, acesta produce la ieșire efectul A. Excitînd neuronul II, prin stimulul b, se obține răspunsul B. Dar dacă se excită simultan ambii neuroni atunci este excitat și neuronul III care la rîndul lui excită neuronul IV. Acest neuron se caracterizează prin aceea că are o *memorie* care înregistrează aceste coincidențe. După un număr de coincidențe, pragul lui scade, astfel încît se ajunge, la un moment dat, ca el să fie excitat chiar numai de semnalul b. Ca rezultat, producerea stimulului b are drept consecință obținerea unui răspuns A.

Tot cu ajutorul unor rețele simple se pot forma grupări de cîțiva neuroni, care să facă astfel încît, la ieșirea din sistem să se producă un semnal numai pentru perioada de început de aplicare a stimulului.

Într-o fază superioară se pot elabora rețele formate din mai mulți neuroni, în care nu avem de-a face numai cu elemente

strict deterministe, putînd apărea şi unele elemente întîmplătoare. Se ajunge astfel la aşa-numitele *reţele neuronale probabilistice*. Experienţele şi studiile teoretice efectuate pînă în prezent arată că reţelele probabilistice au un rol important în sistemul nervos.

Neurocibernetica a reuşit să considere fenomenele din sistemul nervos din punct de vedere informaţional. Desigur că această ştiinţă fiind la început nu poate explica deocamdată marea bogăţie de fenomene care caracterizează în general activitatea nervoasă a fiinţelor superioare şi, în special, a omului. Totuşi, rezultatele obţinute pînă în prezent sînt încurajatoare şi arată că neurocibernetica va permite pătrunderea tot mai mult în înţelegerea modului de funcţionare a creierului.

10. TEORIA INFORMAŢIEI

Una din principalele noţiuni noi care au intrat în patrimoniul ştiinţei contemporane este şi *informaţia*.

Înainte de a trece la definirea acestei noţiuni este util să facem cîteva consideraţii generale asupra noţiunii de informaţie în accepţia curentă a cuvîntului.

Se spune că se obţine o informaţie prin realizarea unei experienţe, atunci cînd nu se cunoaşte dinainte modul în care va evolua experienţa respectivă. Cu alte cuvinte, atunci cînd sîntem în prezenţa unui caz sigur avem o informaţie zero. Informaţia ne apare deci legată de probabilitatea de realizare a evenimentelor considerate.

După cum se ştie, semnalele pot fi clasificate în *continue* şi *discontinue* (discrete). Literele sînt semnale discrete, în timp ce sunetele unei simfonii constituie un exemplu de semnale continue; indicaţia unui vitezometru este continuă, în timp ce kilometrajul este un exemplu de indicaţie discretă.

Rămînînd în cadrul semnalelor discrete, convenim să numim *alfabet* colecţia tuturor semnalelor distincte între ele, utilizate într-un sistem de comunicaţii. Fiecare semnal el ementar poate fi numit şi „literă abstractă". Caracterul de elementaritate depinde de punctul de vedere în care ne situăm. Astfel a' poate fi literă a unui alfabet — dar poate şi să nu fie. Literele alfabetului se notează între acolade. Pentru un alfabet care utilizează numai două litere, notate 0 şi 1, se va scrie {0, 1}. Astfel, de exemplu, alfabetul latin, alfabetul Morse, cifrele de

Scanned with OKEN Scanner

la 0 pînă la 9, alfabetul cuneiform, sînt exemple de alfabete, ca şi semnalele folosite în circulaţie etc.

Desigur că cel mai simplu alfabet are numai două semne. Referitor la aceasta este necesar să precizăm că spaţiul dintre cuvinte, ca şi semnele de punctuaţie, sînt de asemenea litere ale alfabetelor folosite pentru scriere. Din acest punct de vedere, alfabetul Morse este constituit din puncte, linii şi spaţii.

Prin definiţie, *lungimea* unui alfabet este dată de numărul literelor sale.

O primă problemă care se pune în legătură cu semnalele discrete este aceea a determinării cantităţii de informaţie pe care ne-o dă în medie o literă din alfabetul respectiv.

Pentru a măsura caracterele statistice ale mesajelor emise de o sursă, se poate introduce noţiunea de *entropie*. Evident, rezultatul unui experiment este un eveniment care nu este cunoscut dinainte. Se spune că se obţine o informaţie atunci cînd în urma unui experiment se obţin date care nu sînt cunoscute dinainte. Se pune problema introducerii unei măsuri I a informaţiei medii produse de sursă.

Se va considera întîi cazul intuitiv al unui eveniment care se poate realiza în n cazuri diferite, toate egal de probabile.

Desigur că informaţia astfel obţinută are o măsură care este o funcţie ce depinde numai de n: $I = I(n)$. Dacă $n = 1$, rezultatul experimentului este dinainte cunoscut, deci $I(0) = 1$.

Rezultă deci că pentru a se transmite o informaţie este absolut necesar ca $n \geqslant 2$. Cazul $n = 2$ corespunde unui alfabet în care se dispune de o pauză şi o literă propriu-zisă cu care se pot forma diferite cuvinte.

În al doilea rînd, I trebuie să fie o funcţie uniform crescătoare cu n, deoarece cu creşterea lui n creşte şi nedeterminarea modului în care se rezolvă experimentul — deci informaţia obţinută prin producerea evenimentului este mai bogată.

Fie cazul în care $n \neq 1$ şi fie un mesaj format din s litere. În total se pot forma $N = n^s$ astfel de mesaje. Admitem că pentru două mesaje de lungimi s_1 şi s_2 se scrie $N = N_1 + N_2 = n^{s_1} + n^{s_2}$ Reunirea celor două mesaje dă un alt mesaj de lungime $s_1 + s_2$ la care $N' = n^{s_1+s_2}$. Dar $I_{s_1+s_2} = I_{s_1} + I_{s_2}$, deci $I_s = k \lg N = sk \lg n$. Informaţia medie pe literă este deci

$$I = \frac{I_s}{s} = k \lg n.$$

Baza logaritmului este arbitrară. Este uzual a se lua baza 2, în care caz cantitatea de informație este măsurată în *biți pe simbol*; în acest caz se ia $k = 1$.

Formula dată pentru I satisface cele două condiții enunțate.

Dacă se consideră un eveniment care se poate realiza în n moduri diferite, fiecare dintre ele cu probabilitatea p_i, se poate introduce o altă definiție pentru cantitatea de informație obținută în urma unui eveniment.

În acest caz, pentru cantitatea de informație se va introduce o măsură notată H și denumită *entropie*.

Proprietățile lui H sînt următoarele:

1. H este o funcție continuă în toate variabilele p_i.

2. Dacă toate p_i sînt egale între ele ($p_i = 1/n$), atunci H coincide cu I. În orice caz, atunci cînd toate evenimentele sînt echiprobabile, H este o funcție monoton crescătoare de n.

3. Dacă un experiment este descompus în alte două experimente succesive, atunci H care corespunde evenimentului compus este suma ponderată a celor două expresii care corespund lui H pentru evenimentele parțiale.

Ca un exemplu intuitiv care ilustrează această ultimă afirmație, se consideră cazul particular în care un eveniment se poate realiza în trei moduri diferite, caracterizate prin probabilitățile p_1, p_2 și p_3. Dar aceasta se poate realiza în două moduri diferite, introducînd o etapă intermediară, în sensul că vom avea în primul rînd două alegeri posibile, cu probabilitățile $p' = p_1$ și $p'' = (p_2 + p_3)$, după care alternativa p'' este descompusă în alte două alegeri, cu probabilitățile p_2 și p_3. Conform celor postulate la punctul 3, se va scrie

$$H(p_1, p_2, p_3) = H(p_1, p_2 + p_3) + (p_2 + p_3)\, H\left(\frac{p_2}{p_2+p_3}, \frac{p_3}{p_2+p_3}\right).$$

În fig. 10.1 se arată cele două moduri de descompunere a rezultatului final.

Admițînd aceste trei postulate, se poate enunța următoarea teoremă referitoare la H:

Singura funcție H care satisface cele trei condiții enunțate anterior este

$$H = -k \Sigma\, p_i \lg p_i\,,$$

unde k este o constantă pozitivă.

Un caz important care trebuie analizat este acela al lui $n = 2$. Să determinăm modul în care variază H cu p.

Scanned with OKEN Scanner

Fie p şi $q = 1 - p$ cele două probabilităţi.
Conform definiţiei

$$H = - p \lg p - (1 - p) \lg (1 - p).$$

Reprezentarea funcţiei H în acest caz este dată în fig. 10.2.

În ceea ce priveşte entropia, se poate observa că expresia dată pentru H este identică cu expresia entropiei din mecanica statistică (teorema H a lui Boltzmann).

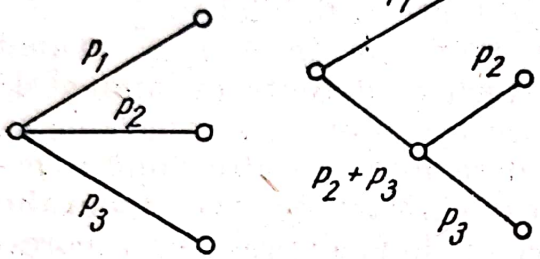


Fig. 10.1

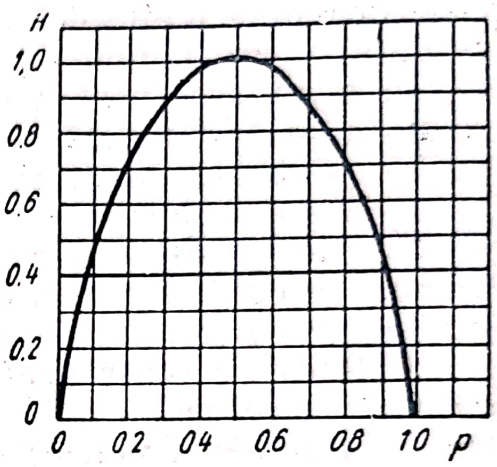


Fig. 10.2

Entropia se măsoară în unităţi binare numite biţi pe eveniment. Se poate vorbi deci despre o informaţie medie pe care o dă o literă dintr-un text sau, în general, producerea unui eveniment.

Valoarea entropiei măsoară nedeterminarea evenimentului, ea fiind cu atît mai mare cu cît această nedeterminare este mai mare.

Este firesc ca entropia să crească o dată cu nedeterminarea, deoarece cu cît nedeterminarea este mai mare, cu atît creşte şi informaţia care se obţine din realizarea unui anumit eveniment.

Revenind la texte scrise într-un anumit alfabet şi calculînd frecvenţele de apariţie a diferitelor litere, se constată că, pe măsură ce din textul respectiv s-a considerat un segment mai mare, cu atît frecvenţele devin mai stabile, în sensul că valoarea lor rămîne practic constantă. Se poate considera că, în modul acesta, s-a determinat probabilitatea de apariţie a diferitelor litere din textul considerat. Plecînd de aici, se poate determina entropia respectivă.

Dacă se efectuează calculul pentru un text dintr-o limbă oarecare, se constată că entropia astfel determinată are o valoare mai mică decît valoarea maximă H_0 a entropiei, aşa

cum rezultă ea pentru un alfabet de lungime egală cu cea a limbii considerate. Pentru un alfabet de lungime s se obține

$$H_0 = \lg s \text{ [biți/literă]}.$$

Astfel, de exemplu, în cazul limbii române

$$H_0 = \lg_2 27 = 4{,}7549 \text{ biți/literă}.$$

Deoarece entropia este maximă atunci cînd nedeterminarea este maximă, rezultă că în cazul considerat ea este maximă atunci cînd toate literele au o probabilitate egală de apariție. Dar, în limbile naturale, literele apar cu probabilități diferite unele de altele, unele litere fiind mai frecvente decît altele. Ca urmare, entropia are o valoare mai mică decît valoarea maximă respectivă.

Diferența dintre entropia maximă care s-ar putea obține dintr-un alfabet și entropia reală a unui anumit text se numește *redundanța absolută* a textului respectiv. Raportul dintre redundanța absolută și valoarea maximă a entropiei se numește *redundanță relativă*

$$R = \frac{H_0 - H}{H_0}.$$

Existența redundanței corespunde faptului că în cadrul limbilor subzistă anumite legături fonetice, gramaticale și logice care fac ca unele litere să fie de prisos. Cu alte cuvinte, dintr-un text dat, anumite litere se pot suprima, fără ca textul să devină neinteligibil. În general, prezența redundanței face ca mesajele să poată fi interpretate chiar și atunci cînd ele se transmit în prezența zgomotului.

În cazul operelor lui Eminescu și ale lui Arghezi, redundanța medie este de circa 10,6%. În general, însă, redundanța este cu mult mai mare (chiar 60%).

Existența redundanței nu este însă specifică limbii, ea intervenind ori de cîte ori se urmărește mărirea stabilității unei comunicații față de acțiunea perturbațiilor.

În general, în canal mesajele sînt afectate de prezența unor perturbații.

Perturbațiile pot fi identificate cu ușurință atît în cazul comunicațiilor telefonice, cît și al celor de radio sau televiziune. Dar perturbațiile, folosite și sub numele generic de *zgomote*, apar în orice transmitere de informație.

Principalul efect al zgomotelor constă în alterarea mesajelor recepționate, în sensul că mesajul recepționat diferă de mesajul transmis.

Scanned with OKEN Scanner

Atîta timp cît efectul perturbațiilor este redus, mesajul recepționat este încă inteligibil. Dacă însă nivelul perturbațiilor devine foarte mare, atunci mesajul nu mai poate fi recunoscut.

Să considerăm un mesaj care se transmite cu ajutorul unui cod format numai din două litere. Utilizînd o notație convențională, putem spune că una din litere este reprezentată prin 0, iar cealaltă prin 1. La receptor, în absența perturbațiilor, se recepționează o anumită succesiune de semne 0 și 1. Datorită acțiunii perturbațiilor, unele semne 0 sînt transformate în 1, și invers. Atunci cînd semnalele au o intensitate mare în raport cu zgomotul, recepția se face în condiții bune. Dacă însă acțiunea perturbațiilor este puternică, atunci cînd se recepționează un 0, nu se poate ști dacă acesta corespunde transmiterii unui semn 0 sau unui semn 1. Cu alte cuvinte, nu mai are sens să recepționăm mesajul, deoarece nu-l putem interpreta corect.

Din cele expuse pînă acum rezultă că pentru asigurarea unei bune transmisiuni a semnalelor, este necesar să se aibă în vedere raportul dintre intensitatea semnalului util și intensitatea perturbațiilor sau, cum se mai numește curent, raportul semnal/zgomot.

În general, pentru evaluarea acestui raport, se utilizează o scară logaritmică, în care în loc să se lucreze cu intensitatea S a semnalului și cu intensitatea N a zgomotului, se lucrează cu decibeli (prescurtat dB).

Măsura în decibeli a unei mărimi a se definește ca fiind proporțională cu logaritmul raportului dintre mărimea a pe care o măsurăm și o mărime fundamentală a_0 luată ca mărime de bază:

$$\text{măsura lui } a\ [\text{dB}] = 20\ \lg_{10} \frac{a}{a_0}.$$

Această definiție este valabilă în cazul în care a are valoarea unei intensități și nu a unei puteri. În cazul în care se măsoară puteri, atunci

$$\text{măsura lui } P\ [\text{dB}] = 10\ \lg_{10} \frac{P}{P_0}.$$

În cazul sunetelor, de exemplu, ca mărime de bază se ia sunetul care are o intensitate atît de slabă încît se află la limita de percepție.

Ca exemplu de intensități sonore vom preciza că în cazul unei conversații se ajunge la un nivel de 40 dB, în timp ce o

Scanned with OKEN Scanner

orchestră are o intensitate de 80 dB, iar un perforator o intensitate de 100 dB.

Avantajul sistemului de măsură în decibeli constă în aceea că el se află în strînsă legătură cu proprietăţile fiziologice ale sistemului nervos, în care de asemenea apar logaritmări.

În ceea ce priveşte perturbaţiile, trebuie remarcat faptul că, în general, semnalele se recepţionează în condiţii cu atît mai bune, cu cît raportul semnal-zgomot este mai mare; cu alte cuvinte, cu cît nivelul semnalului util este mai mare decît nivelul zgomotului.

Semnalele au însă şi alte caracteristici, în afară de raportul semnal/zgomot. Astfel, semnalele se caracterizează prin *durata* transmiterii lor, precum şi prin *banda* de frecvenţe utilizată.

Noţiunea de durată a unui mesaj este prea simplă pentru a mai necesita o explicaţie. În schimb, însă, noţiunea de bandă de frecvenţe trebuie explicată.

Orice semnal, periodic sau neperiodic, are un anumit spectru. Pentru transmiterea unui semnal, periodic sau neperiodic, este deci necesar să dispunem de un anumit domeniu de frecvenţe în care să se poată plasa spectrul acelui semnal. Dacă semnalul este periodic şi sinusoidal, spectrul lui s-ar reduce la o singură componentă. Însă, deoarece în acest caz nu ar avea loc o transmitere de informaţie, este necesar să se recurgă la un semnal neperiodic variabil în timp într-un mod care nu-i dinainte cunoscut. Acest semnal are însă un spectru mai mare de frecvenţe.

În general, amplitudinea armonicilor scade pe măsură ce frecvenţa lor devine mai mare. La un moment dat, amplitudinea lor devine mai mică decît amplitudinea zgomotului şi poate fi neglijată.

În transmisiunile telefonice obişnuite, semnalele transmise au frecvenţele cuprinse între circa 300 şi 3 000 Hz.

Desigur că ne-am putea întreba dacă nu este cu putinţă să reducem banda de frecvenţe utilizată în aceste transmisiuni.

Să încercăm pentru aceasta o experienţă simplă. Anume, să înregistrăm mesajul care trebuie transmis pe o bandă de magnetofon, pe care o vom derula apoi cu o viteză diferită faţă de aceea cu care s-a făcut înregistrarea. Dacă vom încerca să dublăm viteza de transmitere, pentru a reduce durata de transmitere a mesajului, vom constata că frecvenţele transmise vor fi duble faţă de cele înregistrate. Astfel, dacă la înregistrare s-a utilizat un timp t, pentru o bandă de frecvenţă limitată la frecvenţa maximă B, la derularea cu viteză dublă s-a folosit

un timp $t/2$, dar în același timp banda de frecvențe s-a extins pînă la frecvența maximă $2B$.

În general, la mesajele transmise pot fi puși în evidență trei parametri fundamentali, și anume: raportul semnal/zgomot, durata transmisiunii, banda de frecvențe utilizată. Se poate considera că mesajul ocupă un anumit paralelipiped, care definește *volumul mesajului* (fig. 10.3). Încercarea de a modifica una din laturile acestui paralelipiped se traduce prin modificarea corespunzătoare a celorlalte dimensiuni, astfel ca în ansamblu volumul mesajului să rămînă constant.

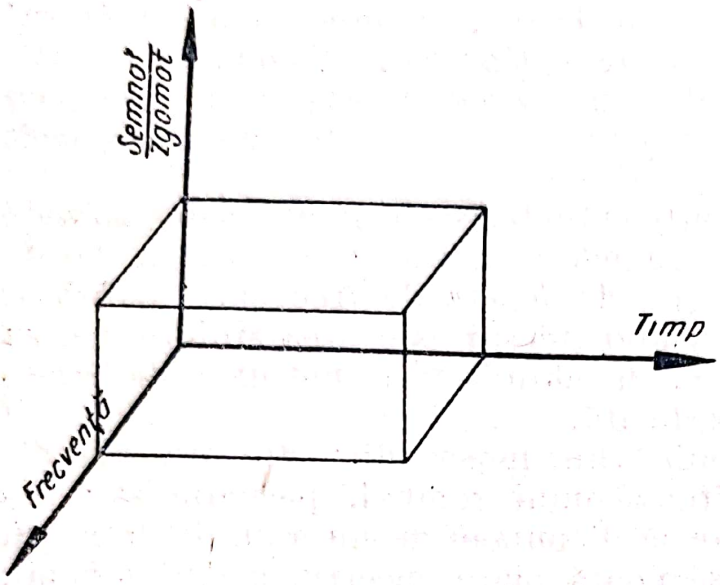


Fig. 10.3

În tehnica actuală se utilizează diferite procedee cu ajutorul cărora se pot transmite, pe un același canal, mai multe convorbiri.

În principal se deosebesc două mari categorii, dintre care unele recurg la o diviziune în timp, și altele la o diviziune în frecvență; ambele au fost explicate în capitolul precedent.

11. APLICAȚII ALE TEORIEI INFORMAȚIEI

Ca aplicații ale teoriei informației se pot da cîteva exemple simple de rezolvare a unor probleme de logică. Aceste exemple permit punerea în evidență a proprietăților intuitive ale informației.

Iată o primă problemă: se cere numărul minim de întrebări prin care cineva poate determina un număr întreg și pozitiv mai mic decît 1 000, la care s-a gîndit interlocutorul, știind că la toate întrebările puse acesta răspunde numai prin da sau nu.

Scanned with OKEN Scanner

În acest caz este vorba de un experiment compus, care constă în aceea că persoana care ghicește numărul pune n întrebări.

Deoarece la fiecare întrebare se obține numai unul din două răspunsuri posibile, rezultă că entropia fiecărui experiment parțial nu depășește 1 bit, deci entropia experimentului total nu este mai mare decît n biți.

Se deduce deci următoarea inegalitate:

$$H_1 \leqslant n \text{ [bit]}.$$

Entropia determinării unui număr din N numere echiprobabile este

$$H_2 = \lg_2 N.$$

Deoarece trebuie să avem

$$H_1 \geqslant H_2,$$

atunci

$$n \geqslant \lg_2 N.$$

Dar cum n este un număr întreg, rezultă că n este cel mai mic întreg care satisface ultima inegalitate. În cazul $N = 1\,000$, $n = 10$, numărul respectiv poate fi determinat din zece determinări.

Aceste întrebări se pot pune astfel încît de fiecare dată să se înjumătățească intervalul în care se află numărul cuprins.

O succesiune tipică de întrebări este deci următoarea:

1) Este numărul ales mai mare decît 500?

Indiferent de răspunsul obținut, domeniul de căutare s-a redus la jumătate. În cazul în care răspunsul este negativ se trece la întrebarea 2:

2) Este numărul ales mai mare decît 250?

În cazul în care răspunsul este afirmativ se trece la întrebarea 2′:

2′) Este numărul ales mai mare decît 750?

Mecanismul de determinare a numerelor este foarte simplu, fiind vorba mereu de înjumătățirea intervalului în care se caută numărul căutat.

A doua problemă este următoarea:

Fie trei orașe A, B și C. Se știe că locuitorii din A spun adevărul în toate cazurile, locuitorii din B totdeauna mint, și locuitorii din C răspund la întrebări în mod alternativ, o dată adevărat și o dată fals. Observatorul O vrea să știe în ce oraș se află și în ce oraș trăiește un om pe care l-a întîlnit.

Scanned with OKEN Scanner

(S-ar putea întîmpla ca să întîlnească în B pe un locuitor din C venit acolo întîmplător etc.).

Se cere să se determine numărul minim n de întrebări pe care trebuie să le pună O, omului întîlnit, pentru a afla ceea ce-l interesează, dacă la toate întrebările acesta răspunde numai prin da sau nu.

În primul rînd se observă faptul că, în total, există nouă cazuri posibile, deoarece există nouă combinații posibile referitoare la oraşe şi la oamenii întîlniți. Astfel, un locuitor din A poate fi întîlnit în A, B, C etc. Considerînd toate combinațiile posibile ca fiind echiprobabile, atunci entropia $H(e)$ a experimentului e considerat va fi egală cu $\lg_2 9$. Să considerăm experimentul compus, care constă în aceea că O pune k întrebări. Deoarece la fiecare întrebare el nu poate obține decît două răspunsuri posibile, înseamnă că entropia fiecăruia din aceste experimente parțiale nu depăşeşte 1 bit.

Pe de altă parte,

$$4 = \lg_2 16 > \lg_2 9 > \lg_2 8 = 3,$$

de unde se deduce că $n = 4$, deci răspunsul căutat se poate afla din cel mult patru întrebări, care pot fi, de exemplu, următoarele :

1) mă aflu oare într-unul din oraşele A şi B?
2) mă aflu oare în oraşul C?
3) locuiți oare în C?
4) mă aflu oare în oraşul A?

Rămîne de verificat faptul că, într-adevăr, prin aceste patru întrebări se găseşte răspunsul la întrebările date.

Este evident faptul că la întrebările 1 şi 2, dacă se obțin în ambele cazuri răspunsuri afirmative sau negative, se deduce că interlocutorul lui O locuieşte în C. Dacă la ambele întrebări răspunsurile erau identice, este clar că apare o contradicție, deci o dată s-a spus adevărul şi o dată s-a mințit, deci interlocutorul locuieşte în C.

La sfîrşitul acestei etape O nu ştie oraşul în care se află. După răspunsul obținut la a treia întrebare, el ştie dacă se află sau nu în C. Dacă răspunsul era afirmativ, înseamnă că la întrebarea 3 interlocutorul său a spus adevărul, deci la a doua întrebare a mințit. Dacă răspunsul la întrebarea 2 fusese negativ, O trage concluzia că se află în C — şi cu asta a aflat tot ceea ce dorea. Dacă însă răspunsul fusese pozitiv, O trage concluzia că se află în A sau în B — dar nu ştie unde. Răspunsul la întrebarea 4 îl lămureşte însă complet. În acest caz, un răspuns negativ la întrebarea a treia este evident un răspuns fals, deci el a răspuns adevărat la întrebarea a doua deoarece conform ipo-

tezelor de lucru, după o întrebare la care se dă un răspuns adevărat, urmează un răspuns fals.

În mod asemănător se pot analiza şi celelalte cazuri posibile.

Un al treilea exemplu se referă la determinarea monedelor false cu ajutorul cîntăririlor.

Se dau 12 monede de aceeaşi valoare, dintre care 11 au aceeaşi greutate, pe cînd una — cea falsă — are o greutate diferită. Nu se precizează dacă moneda falsă are o greutate mai mare sau mai mică decît monedele adevărate. Se cere să se determine numărul minim de cîntăriri, pe o balanţă fără greutăţi, care permite să se identifice moneda falsă, stabilindu-se în acelaşi timp dacă este mai uşoară sau mai grea decît celelalte.

Experimentul considerat duce la 24 de rezultate diferite, deoarece fiecare din cele 12 monede poate fi falsă, în acelaşi timp putînd fi mai grea sau mai uşoară decît monedele bune.

La începutul experienţei nu se deţine nici o informaţie suplimentară, deci toate aceste variante sînt echiprobabile, deci entropia experimentului este egală cu lg 24. Este deci necesar ca din cîntăriri să se obţină minimum $\lg_2 24$ biţi.

Prin fiecare cîntărire se poate obţine o informaţie cel mult egală cu $\lg_2 3$ biţi, deoarece în cazul balanţei cu braţe egale, fiecare cîntărire se poate rezolva în trei moduri diferite : balanţa rămîne în echilibru — semn că ambele monede comparate sînt egale ; balanţa se înclină înspre dreapta — ceea ce dovedeşte că moneda din dreapta este mai grea ; balanţa se înclină înspre stînga — ceea ce arată că moneda din stînga este mai grea.

Dacă se notează cu n numărul cîntăririlor, atunci sîntem conduşi la rezolvarea următoarei ecuaţii :

$$n \lg_2 3 \geqslant \lg_2 24,$$

ceea ce arată că trei cîntăriri sînt suficiente pentru a se determina moneda falsă, stabilindu-se în acelaşi timp dacă moneda falsă este mai uşoară sau mai grea decît celelalte.

Este indicat însă să se facă o analiză mai minuţioasă şi o determinare mai exactă a informaţiei furnizate de prima cîntărire.

În prima cîntărire, pe cele două talere ale balanţei se pot aşeza pentru echilibrare numere variate de monede. Se pot dispune astfel grupuri de m monede, unde m este un număr cuprins între 1 şi 6.

În cazul în care pe cele două brațe ale balanței se dispun cîte m monede și balanța rămîne în echilibru, atunci se știe că moneda falsă este una dintre cele $12 - 2m$ monede încă necîntărite. Aceasta corespunde la $2(12 - 2m)$ rezultate echiprobabile ale experimentului. Dacă însă a precumpănit talerul din dreapta, atunci moneda falsă este sau una dintre cele m monede aflate pe talerul din dreapta — și atunci este mai grea — sau ea este una dintre cele m monede aflate în talerul din stînga — și atunci ea este mai ușoară. Aceste situații corespund altor $2m$ rezultate ale experimentului total.

O situație asemănătoare are loc atunci cînd se apleacă talerul din stînga.

În total se observă că cele trei rezultate ale primei cîntăriri au probabilitățile

$$\frac{6-m}{6}, \frac{m}{12}, \frac{m}{12}.$$

Entropia primei cîntăriri va avea o valoare care depinde, evident, de m. Informația maximă va corespunde acelei alegeri a lui m, pentru care entropia primului experiment este maximă — ceea ce corespunde evident situației în care cele trei probabilități sînt egale. Aceasta are loc în cazul în care $m = 4$. Este deci recomandabil ca determinarea monedei false să înceapă prin compararea a două grupuri a cîte patru monede.

Sînt apoi de considerat două situații, în funcție de echilibrul balanței.

În cazul în care la prima cîntărire balanța a rămas în echilibru, opt monede au fost eliminate, rămînînd a se compara între ele numai alte patru monede. Trebuie ca din două cîntăriri să se determine care anume monedă este cea falsă. În total au rămas $2 \times 4 = 8$ rezultate posibile. Deoarece

$$2 \lg_2 3 = 2 \times 1{,}585 = 3{,}170 \geqslant \lg_2 8 = 3$$

tragem concluzia că această determinare este cea posibilă.

Rămîne de determinat modul în care se efectuează noua cîntărire.

Pentru aceasta se notează prin $a_2(i, j)$ experimentul care constă în aceea că pe talerul din dreapta al balanței se dispun i din cele patru monede suspecte, și pe cel din stînga $j \leqslant i$ din aceste monede și încă $i - j$ monede despre care știm că sînt bune. Se notează prin $p(E)$, $p(D)$ și $p(S)$ probabilitățile ca în acest nou experiment balanța să fie în echilibru sau să se încline spre dreapta, respectiv spre stînga.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste probabilități se calculează cu ușurință fiind egale cu raportul dintre numărul de cazuri în care $a_2(i, j)$ are rezultatul E, sau D, sau S și numărul total de cazuri posibile, adică 8. Situația se prezintă ca în tabela 1.

Tabela 1

Entropia H a experimentelor a_2 (i, j)

i	j	$p(E)$	$p(D)$	$p(S)$	H
1	1	1/2	1/4	1/4	0,452
1	0	3/4	1/8	1/8	0,320
2	2	0	1/2	1/2	0,301
2	1	1/4	3/8	3/8	0,470
2	0	1/2	1/4	1/4	0,452
3	1	0	1/2	1/2	0,301
3	0	1/4	3/8	3/8	0,470
4	0	0	1/2	1/2	0,301

Din această tabelă rezultă că experimentele $a_2(2, 1)$ și $a_2(3, 0)$ au entropia maximă. Deci pentru ca din aceste experimente să se obțină maximum de informație, trebuie ca în procesul celei de-a doua cîntăriri să adoptăm una din cele două strategii :

1) pe un taler al balanței se pun două din cele patru monede suspecte, iar pe al doilea una din monedele suspecte și o monedă bună ;

2) pe un taler al balanței se pun trei monede suspecte, iar pe al doilea trei monede sigur bune.

Dacă în aceste două experimente balanța rămîne în echilibru, atunci este clar că este falsă singura monedă suspectă care nu a participat la cea de-a doua cîntărire. Deoarece se cere ca în plus să se stabilească dacă această monedă este mai grea sau mai ușoară decît monedele bune, rămîne ca într-o a treia cîntărire să se determine aceasta, comparînd ultima monedă cu o monedă sigur bună.

Dacă în experimentul $a_2(2, 1)$ balanța se înclină spre dreapta atunci este falsă sau una din cele două monede de pe talerul din dreapta — și atunci ea este mai grea decît celelalte — sau este falsă singura monedă nedeterminată de pe talerul din stînga — și atunci ea este mai ușoară decît cele bune. Comparîndu-se între ele cele două monede din dreapta, într-o a treia cîntărire, se rezolvă problema în mod complet. Dacă în această nouă cîntărire balanța rămîne în echilibru, atunci înseamnă că cele două monede sînt egale și deci bune ; moneda falsă este

Scanned with OKEN Scanner

cea care se afla anterior pe talerul din stînga şi despre care ştim că este mai uşoară.

În cazul în care în acest de-al doilea experiment balanţa se înclină, ştim cu precizie că moneda falsă se află pe talerul care s-a înclinat în jos.

Urmează o analiză pentru cazul în care, la prima determinare, balanţa s-a înclinat. Vom presupune anume că ea s-a înclinat în jos spre dreapta. În acest caz se ştie că ea este mai grea dacă se afla printre monedele din dreapta, şi mai uşoară în cazul în care se afla printre cele din stînga. În cea de-a doua cîntărire se vor aşeza pe talerul din dreapta i_1 monede care în prima cîntărire se aflau în dreapta şi i_2 monede din cele care iniţial se aflau în talerul din stînga, iar pe talerul din stînga j_1 monede „din dreapta" şi j_2 monede „din stînga".

Se poate întocmi acum o tabelă analogă celei precedente, determinînd entropia experimentului F pentru toate valorile posibile date variabilelor.

Un raţionament prealabil arată că informaţia pe care o putem obţine prin efectuarea celei de-a treia cîntăriri nu depăşeşte $\lg_2 3$; după două cîntăriri trebuie să mai rămînă încă cel mult trei rezultate posibile ale experimentului total B, deoarece în caz contrar, ultimul experiment nu va da posibilitatea determinării în mod unic a rezultatului lui B. De aici rezultă, în primul rînd, că numărul de monede suspecte care nu au intrat în a doua cîntărire nu trebuie să fie mai mare decît trei, deoarece în caz contrar nu putem rezolva problema.

Subzistă aşadar, inegalităţile

$$8 - (i_1 + i_2 + j_1 + j_2) \leqslant 3, \qquad i_1 + i_2 + j_1 + j_2 \geqslant 5$$

şi, deoarece $i_1 + i_2 \geqslant j_1 + j_2$, atunci

$$i_1 + i_2 \geqslant 3, \qquad j_1 + j_2 \geqslant 5 - (i_1 + i_2).$$

Dacă experimentul F duce la înclinarea balanţei spre dreapta, atunci sau una din cele p monede din dreapta este falsă şi mai grea, sau una din cele q monede din stînga este falsă şi mai uşoară.

De aici se obţin încă două inegalităţi

$$i_1 + j_2 \leqslant 3, \qquad i_2 + j_1 \leqslant 3.$$

Evident, mai este necesar să fie verificate şi inegalităţile

$$i_1 + j_1 \leqslant 4, \qquad i_2 + j_2 \leqslant 4,$$
$$(i_1 + i_2) - (j_1 + j_2) \leqslant 4.$$

Scanned with OKEN Scanner

Se poate acum alcătui tabela 2, în care sînt cuprinse toate cazurile interesante.

Tabela 2

Entropia H a experimentelor a_2 (i_1, i_2, j_1, j_2)

i_1	i_2	j_1	j_2	$p(E)$	$p(D)$	$p(S)$	H
2	1	2	1	1/4	3/8	3/8	0,470
2	1	2	0	3/8	1/4	3/8	0,470
2	1	1	1	3/8	3/8	1/4	0,470
1	2	1	2	1/4	3/8	3/8	0,470
1	2	0	2	3/8	3/8	1/4	0,470
1	2	1	1	3/8	1/4	3/8	0,470
3	1	1	0	3/8	3/8	1/4	0,470
1	3	0	1	3/8	1/4	3/8	0,470
2	2	1	1	1/4	3/8	3/8	0,470
2	2	1	0	3/8	1/4	3/8	0,470
2	2	0	1	3/8	3/8	1/4	0,470
3	2	1	0	1/4	3/8	3/8	0,470
2	3	0	1	1/4	3/8	3/8	0,470

Se observă de aici că există 13 variante pentru care acest experiment conține o aceeași informație maximă, ceea ce arată că se poate alege oricare din aceste variante pentru a rezolva problema dată.

Restul discuției este lăsat pe seama cititorului.

12. AUTOMATE

1. Necesitățile vieții practice, dorința omului de a-și ușura condițiile de muncă, au făcut ca oamenii să caute mereu să-și perfecționeze metodele de lucru. Treptat, de la unealta simplă, s-a trecut la mașini tot mai perfecționate. În această direcție, inventarea unor automate mai mult sau mai puțin complexe se înscrie tocmai pe linia măririi productivității muncii, deci a reducerii efortului pe care-l face omul în munca sa. Automatele eliberează pe om de povara muncilor grele și de rutină: este suficient ca automatului să i se dea o comandă, pentru ca el să efectueze munca pentru care a fost proiectat.

Se numește *automatică* știința aplicată care se ocupă cu dispozitivele și legăturile ce realizează operațiile de comandă sau de reglare a instalațiilor sau proceselor tehnice.

Scanned with OKEN Scanner

Introducerea de dispozitive și legături în scopul realizării operațiilor de conducere și de reglare a instalațiilor sau proceselor termice constituie operația de *automatizare*.

Prin *conducere* se înțelege ansamblul de operații care fac ca valorile unei mărimi, dintr-un anumit proces, să depindă, după o lege prestabilită, de valorile unei mărimi date. Uneori această mărime dată este independentă de proces.

Fig. 12.1

În general, valorile mărimilor dependente de proces nu influențează direct operațiile de conducere.

Ansamblul de operații care constituie o comandă funcționează în general în *circuit deschis*.

Schema-bloc a unei instalații de comandă automată se redă în fig. 12.1, unde *1* este dispozitivul de automatizare, *2*, elementul automatizat, *i*, mărimea de intrare, *e* mărimea de ieșire, iar *m* mărimea de execuție.

De exemplu, apăsarea butonului pentru a chema ascensorul constituie darea unei comenzi. Dacă becul de semnalizare de pe panoul de lîngă ușa ascensorului este defect, în primele momente noi nu știm dacă această comandă dată a fost sau nu executată de ascensor.

În foarte multe cazuri se dau comenzi pentru ca anumite motoare să intre în funcțiune, să acționeze anumite dispozitive.

Prin *reglare* se înțelege ansamblul de operații, care au ca efect stabilirea unei dependențe — după o lege prestabilită — — pentru valoarea unei mărimi care intervine într-un anumit proces, și în același timp reducerea influenței mărimilor perturbatoare asupra procesului.

În cazul ascensorului, unele perturbații îl pot scoate din funcțiune, în sensul că el nu mai execută comenzile date. Becul de semnalizare are drept scop tocmai să informeze pe cel în cauză asupra executării sau neexecutării comenzii date.

2. Prin *instalație automată* (sistem automat) se înțelege o instalație sau un proces tehnic condus sau reglat după o lege prestabilită, cu ajutorul unor dispozitive de legătură prevăzute în acest scop. O astfel de instalație este, de exemplu, fotomatul — dispozitivul care execută automat fotografii. Aici totul se execută după un anumit program: expunerea materialului sensibil, developarea, fixarea, spălarea etc.

Prin *instalație de reglare automată* (instalație de automatizare, dispozitiv de automatizare), se înțelege ansamblul de apa-

rate şi legături ale unei instalaţii automate, cu ajutorul cărora se realizează comanda sau reglarea automată a instalaţiei respective.

Un exemplu tipic este dat de termostat. Aici se urmăreşte ca în interiorul unei incinte să existe o anumită temperatură, mai mare decît cea a mediului ambiant. Ridicarea temperaturii se realizează cu ajutorul unor încălzitoare, alimentate cu curent

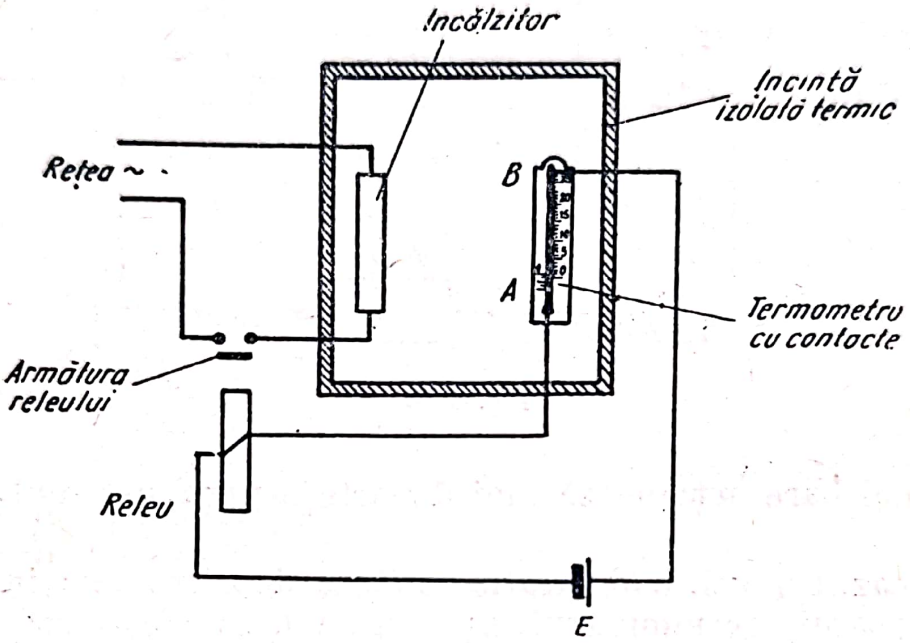


Fig. 12.2

electric de la reţeaua oraşului. În interiorul termostatului se află un termometru cu contacte metalice (fig. 12. 2); unul din contacte este introdus în rezervorul cu mercur, iar altul în dreptul unei anumite temperaturi. Atunci cînd temperatura din interiorul incintei a atins valoarea prescrisă, mercurul se ridică pînă la contactul superior şi în modul acesta închide un contact electric. Aceasta face ca, în circuitul secundar al termostatului, să circule curentul produs de bateria *E* şi să fie atrasă armătura releului din acest circuit. Prin aceasta se desface legătura care alimenta încălzitorul şi se întrerupe alimentarea cu energie electrică a încălzitorului.

O situaţie asemănătoare se întîlneşte în cazul conducerii navelor. Aici se urmăreşte, în general, ca nava să navigheze într-o anumită direcţie bine precizată, direcţie care se determină cu ajutorul unei busole. La comanda dată de timonier se produce rotirea cîrmei. Dar timonierul compară direcţia luată de navă cu direcţia indicată de busolă şi constată concordanţa sau neconcordanţa dintre efectul produs şi comanda dată.

Dacă se desenează schema de principiu a sistemului de conducere a unei nave (fig. 12. 3), precum şi schema unui termostat se regăsesc aici unele elemente comune. Astfel, în primul rînd există o anumită comandă care se dă; comanda produce un anumit efect. Dar, în acelaşi timp, există şi un element care compară efectul produs cu comanda dată. Ca rezultat se produce

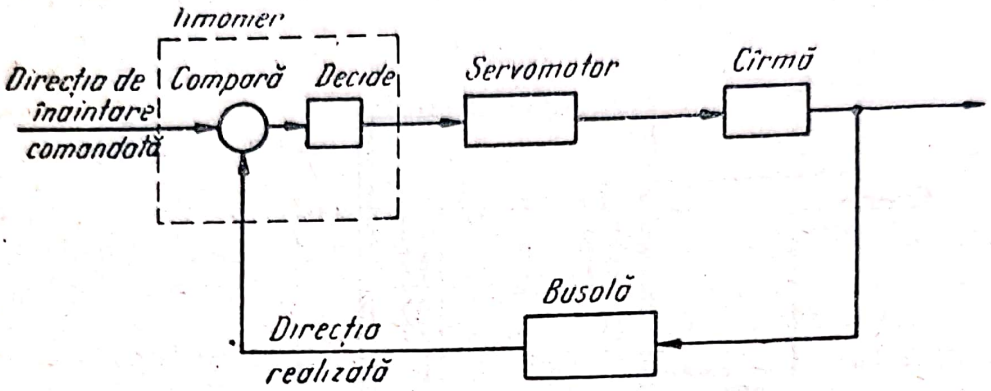


Fig. 12.3

un semnal care acţionează mai departe asupra sistemului respectiv.

În cazul navei, comparaţia se făcea de către om; în cazul termostatului, termometrul este acela care efectuează comparaţia.

Reprezentarea convenţională a instalaţiei automate, în care se indică părţile componente, legăturile dintre aceste părţi şi mărimile fizice transmise prin aceste legături constituie *schema-bloc* a instalaţiei automate.

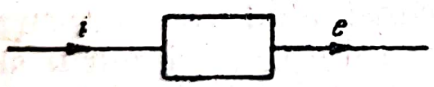


Fig. 12.4

Semnul convenţional grafic folosit în schemele-bloc pentru reprezentarea unui element în general se redă în fig. 12.4, unde i este mărimea de intrare, iar e mărimea de ieşire.

3. În general, în instalaţiile automate se utilizează mult sistemele cu *conexiune inversă* (reacţie). Reprezentarea cu ajutorul unei scheme-bloc a unei instalaţii de reglare automată se vede în fig. 12. 5, unde i este mărimea de intrare, a mărimea de acţionare, c mărimea de comandă, m mărimea de execuţie, e mărimea de ieşire, r mărimea de reacţie.

S-a notat cu *1* elementul de comparaţie, cu *2* regulatorul, cu *3* elementul de execuţie, cu *4* elementul automatizat, şi cu *5* elementul cu care măsurăm (traductorul).

Scanned with OKEN Scanner

4. Se numeşte *element al instalaţiei automate* o parte a instalaţiei automate care formează o unitate din punct de vedere constructiv şi funcţional şi realizează una sau mai multe din funcţiunile instalaţiei automate în cadrul căreia lucrează.

Prin *element de comparaţie* se înţelege un element cu două intrări la care se aplică : mărimea de intrare i a instalaţiei şi

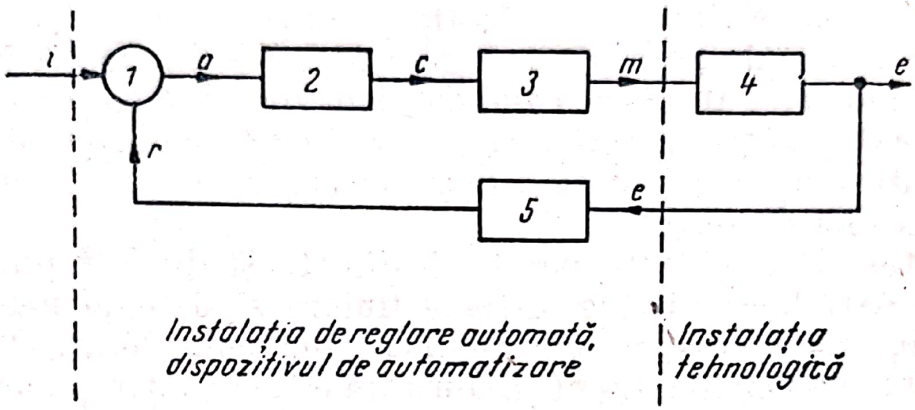


Fig. 12.5

mărimea de reacţie r; elementul are o ieşire la care apare mărimea de acţionare $a = i - r$.

Prin *regulator* se înţelege elementul căruia i se aplică la intrare mărimea de acţionare a şi care produce la ieşire mărimea de comandă c funcţie de mărimea de acţionare a, de derivatele şi integralele în raport cu timpul ale acesteia.

În unele cazuri, prin regulator se înţelege întreaga instalaţie de automatizare.

Prin *element de execuţie se* înţelege acel element al unei instalaţii automate căruia i se aplică la intrare mărimea de comandă c, primită de la regulator, şi a cărui mărime de ieşire, denumită mărime de execuţie m, se aplică elementului automatizat, care constituie instalaţia tehnologică.

Elementul automatizat este elementul sau grupul de elemente al unei instalaţii automate, care constituie, din punctul de vedere al automatizării, instalaţia tehnologică, şi a cărui mărime de ieşire e este reglată prin aplicarea mărimii de execuţie m, la intrarea elementului.

Prin *traductor* se înţelege elementul care produce la ieşire o mărime de o anumită natură fizică, atunci cînd i se aplică la intrare o mărime de altă natură fizică, astfel că între valorile celor două mărimi să existe totdeauna o relaţie biunivocă. De exemplu, termometrul cu mercur „transformă" temperaturile în lungimi, difuzorul „transformă" semnalele electrice în sunete etc.

Scanned with OKEN Scanner

În instalațiile de reglare, traductorul este utilizat, de obicei, pentru a traduce mărimea de ieșire e în mărimea de reacție r, care se aplică elementului de comparație.

Din alt punct de vedere, sistemele automate pot fi clasificate în sisteme cu funcționare continuă și sisteme cu funcționare discontinuă. Astfel, telefonul automat este un exemplu de instalație cu funcționare discontinuă, deoarece nu există decît un număr finit de abonați, și prin numărul pe care-l formăm la discul aparatului, alegem pe unul din acești abonți.

Dimpotrivă, în cazul conducerii navei, timonierul are posibilitatea cel puțin teoretic, să varieze în mod continuu direcția de înaintare a navei : sîntem în prezența unui sistem automat cu funcționare continuă.

Sistemele automate pot fi clasificate și din alt punct de vedere. Astfel, se disting sisteme liniare și sisteme neliniare. Teoretic, multe dispozitive tehnice sînt considerate liniare, deși la un examen mai atent se constată că ele conțin și elemente neliniare.

Un sistem automat este liniar atunci cînd este format din elemente liniare. Un element se numește *liniar* atunci cînd mărimea de ieșire este proporțională cu mărimea de intrare.

Desigur că există și alte criterii de clasificare a automatelor. Dintre acestea vom aminti, în primul rînd, sistemele automate optimale, la care se urmărește în permanență modificarea parametrilor sistemului, pentru ca sistemul să aibă o funcționare optimă dintr-un anumit punct de vedere.

Calitățile pe care le prezintă diferitele tipuri de sisteme automate rezultă clar dintr-un exemplu simplu, și anume încălzirea unei camere.

În cazul în care dorim ca într-o anumită cameră să se realizeze o anumită temperatură convenabilă bunei desfășurări a unei anumite activități, se pot concepe diferite procedee pentru realizarea acestui scop.

Un prim procedeu constă în utilizarea unei cantități fixe de combustibil care se arde în sobă în fiecare zi. Desigur că acest procedeu este nerațional, deoarece nu are rost să încălzim camera decît în timpul iernii.

O ameliorare se produce în momentul în care se fixează un anumit program de ardere a combustibilului, în sensul că, pe baza datelor statistice din anii trecuți, se antecalculează cantitatea de combustibil care trebuie arsă în sobă pentru a se atinge temperatura dorită. În acest caz s-a trecut de la un sistem cu comandă directă și rigid, la un sistem cu comandă directă, dar cu program.

Scanned with OKEN Scanner

Evident că programul constituie o ameliorare, dar nu rezolvă complet problema, deoarece este posibil ca în anumite zile din luna ianuarie temperatura să fie ridicată şi, dimpotrivă, să existe seri friguroase la sfîrşitul lunii martie.

O nouă îmbunătăţire se realizează în momentul în care se modifică complet principiul, trecîndu-se la un sistem de reglare cu conexiune inversă, dispunînd în camera respectivă un termometru, care comandă instalaţia de încălzire. După temperatura existentă în cameră se arde sau nu combustibil în sobă, cu ajutorul unui dispozitiv auxiliar.

În cazul unor instalaţii industriale, se regăsesc aceleaşi posibilităţi ca şi în cazul încălzirii unei camere. Astfel, pentru a se îmbunătăţi calităţile unor piese, ele pot fi supuse unui tratament termic. Atîta timp cît piesele sînt mereu aceleaşi cuptorul are aceeaşi funcţionare, se poate recurge la un sistem cu program fix. La fel, atunci cînd într-un cuptor se arde un singur tip de combustibil, cu proprietăţi constante în timp, debitul de oxigen este şi el constant. În cazul în care se ard diferite tipuri de combustibil (gaz de furnal, gaze naturale, motorină etc.), este necesar a regla în permanenţă debitul de oxigen.

Cu această ocazie trebuie arătat că o ameliorare în funcţionarea instalaţiilor industriale complexe, în special a instalaţiilor chimice, se realizează prin introducerea unor dispozitive ai căror parametri nu sînt constanţi, ci variază în permanenţă, astfel încît în ansamblu funcţionarea instalaţiei să fie optimă. În acest caz se vorbeşte de un sistem automat cu funcţionare optimă. De exemplu, în cazul unei rafinării de petrol, se pune problema ca — indiferent de variaţiile pe care le are în timp compoziţia ţiţeiului care soseşte din diferite schele procesul tehnologic să fie astfel condus încît să se asigure produselor finale mereu aceleaşi calităţi.

În ceea ce priveşte liniaritatea sistemelor automate, se poate înţelege cu uşurinţă că sistemele reale nu pot fi totdeauna considerate liniare. Astfel, de exemplu, în cazul în care există un angrenaj, totdeauna va apărea un mic joc între dinţi. Pentru a se putea roti sistemul într-un sens este necesar ca dinţii celor două roţi să vină în contact. După ce s-a realizat acest contact, sistemul asigură o proporţionalitate între unghiurile de rotaţie ale celor două axe. Dacă însă se schimbă sensul de rotaţie, atunci este necesar ca întîi să se depăşească unghiul mort dintre cei doi dinţi în contact.

În sistemele şi organismele vii există numeroase sisteme de reglare automată.

Scanned with OKEN Scanner

În organismele vii există mărimi care rămîn mereu la aceeaşi valoare. Astfel, de exemplu, temperatura sîngelui la om, numărul de globule roşii pe milimetru cub de sînge, concentraţia de uree din sînge etc., practic rămîn constante în timp la omul sănătos. Aceasta se realizează cu ajutorul a numeroase sisteme naturale de reglare automată, în general cu reacţie.

Astfel de sisteme de reglare automată intervin şi la nivelul funcţiilor psihice.

De exemplu, atunci cînd omul doreşte să efectueze o anumită acţiune, îşi imaginează întîi modul în care va evolua acţiunea sa, organizează în creier o anumită schemă. În fiecare etapă a efectuării acestei acţiuni el compară rezultatul obţinut cu ceea ce urmărea.

Aceasta se poate urmări foarte uşor în cazul vorbirii. Iniţial, în creier există un anumit mesaj de transmis, care este transformat în semnale acustice, prin intermediul comenzilor date organelor vocale. Dar, din diferite cauze, poate exista o diferenţă între ceea ce s-a obţinut ca mesaj sonor şi ceea ce dorea să spună. Există însă o cale de reacţiune prin ureche, care face să se întoarcă la creier mesajul sonor real, pentru a-l compara cu ceea ce se urmărea a se transmite.

La un nivel mai scăzut, sistemele cu conexiune inversă se găsesc în legătură cu muşchii. Fibrele musculare se contractă sub acţiunea impulsurilor nervoase care sosesc prin nervii motori de la neuronii motori. Fiecare fibră în parte poate fi contractată sau relaxată, răspunsul gradat al muşchiului depinzînd de numărul de fibre care se contractă la un moment dat. Pentru a se asigura răspunsul corect al muşchiului, acest răspuns este măsurat de o serie de dispozitive biologice speciale care se găsesc în muşchi, în tendoane şi în jurul articulaţiilor. Este vorba de traductoare mecanice, care transformă eforturile mecanice în semnale electrice dirijate spre sistemul nervos. În termeni fiziologici, aceste traductoare se numesc *receptoare*, şi ele formează — în cazul de faţă — un sistem proprioceptiv, care informează sistemul nervos de starea aparatului locomotor.

În ansamblu, în cazul muşchilor striaţi, se regăseşte un dispozitiv cu conexiune inversă în care se identifică mai multe elemente, şi anume : 1) nervul motor, care transmite mesajul de comandă ; 2) contracţia musculară, care este mărimea comandată ; 3) organul de măsurare, constituit de ansamblul receptoarelor ; 4) nervul senzitiv, care transmite mesajul de reacţiune ; 5) organul de reglare constituit de o parte a sistemului nervos.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul nervilor, în măduvă există două tipuri de celule motoare: unele, denumite *fibre alfa*, care emit mesaje prin fibre mai groase, și altele denumite *fibre gamma*, care emit mesaje prin fibre mai subțiri (fig. 12. 6). Fibrele gamma acționează asupra unor fibre musculare speciale, prevăzute cu un sistem receptor care măsoară efectul produs. Aceste fibre se pot con-

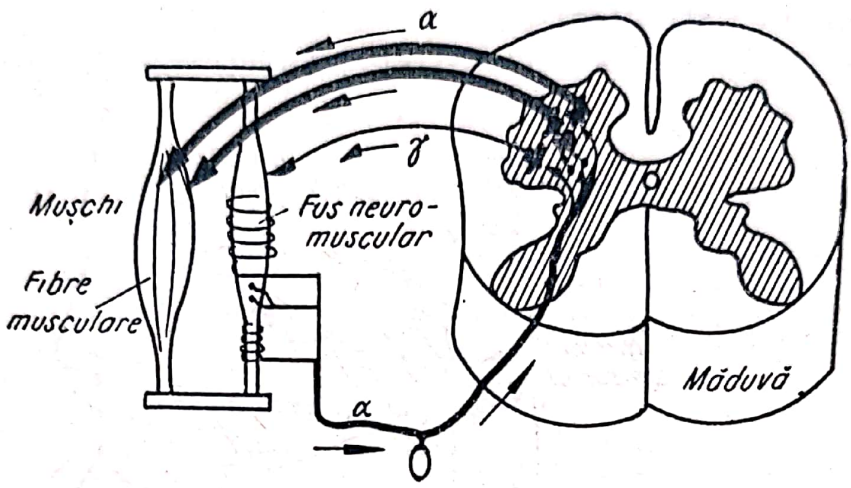


Fig. 12.6

tracta mai mult sau mai puțin, după rezistența care li se opune, și care depinde de contracția fibrelor musculare principale. Semnalele produse de sistemul proprioceptiv (așa-numitul *fus neuromuscular*) sînt apoi retransmise la măduvă prin fibre senzitive de tip alfa, care retransmit mesajul de data aceasta de la mușchi spre măduvă. Aici aceste mesaje sînt prelucrate, rezultînd alte semnale care, la rîndul lor, acționează asupra fibrelor musculare obișnuite din mușchi.

În cazul de față se regăsește cu ușurință aceeași schemă de principiu ca la oricare alt sistem tehnic cu conexiune inversă.

Un alt sistem cu reacție inversă, care a fost bine descris, este acela al inervației irisului.

Un fapt de experiență curentă arată că pupila prezintă un diametru mai mare sau mai mic, în funcție de intensitatea fluxului luminos care cade pe retină. În termeni de automatică, pupila, care este mărimea comandată, are o deschidere mai mare sau mai mică, după jocul mușchilor dilatator și constrictor din iris. Sistemul poate fi schematizat, așa cum se arată în fig. 12.7.

În legătură cu sistemele cu conexiune cu reacție, trebuie observat faptul că aceste sisteme, în anumite situații, pot intra în oscilație.

De exemplu, dacă pe retină este proiectat un fascicul subțire de lumină, orientat chiar la marginea pupilei, atunci

pupila tinde să se contracte și, prin aceasta, taie fasciculul luminos. Ca rezultat, pe retină cade un flux mai redus, și pupila tinde să se mărească. Dar, prin aceasta se produce din nou o mărire a fluxului care cade pe retină. Ca rezultat, în permanență pupila pulsează, închizîndu-se și deschizîndu-se, producîndu-se un așa-numit *hypus*.

În cazul sistemelor cu reacție, din tehnică, există posibilitatea ca sistemele să fie astfel proiectate încît în interiorul

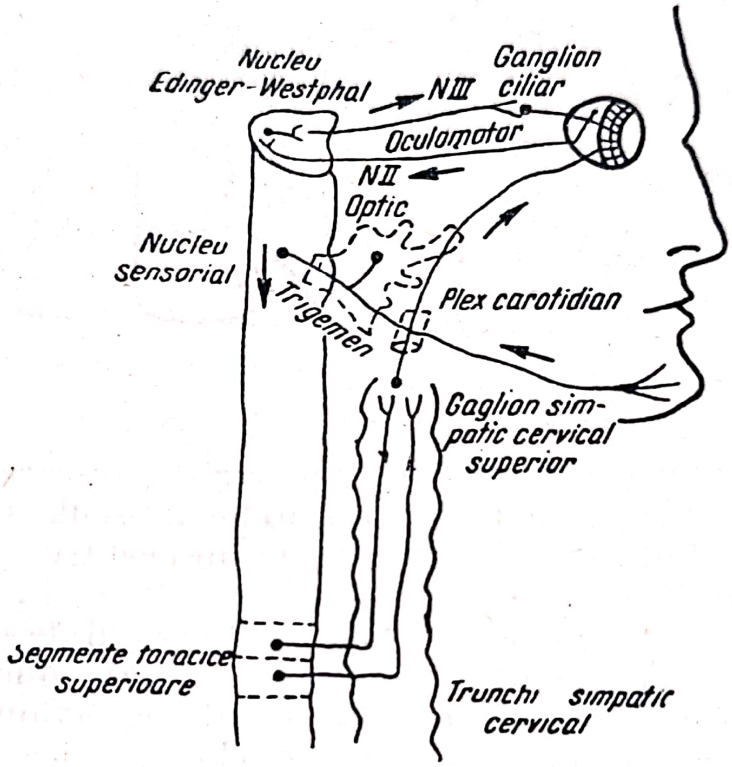


Fig. 12.7

lor să apară semnale care oscilează în timp. În unele cazuri, sistemele sînt proiectate special pentru a produce astfel de oscilații : este cazul oscilatoarelor. În alte cazuri, oscilațiile apar ca un efect nedorit care perturbă buna funcționare a instalației și trebuie eliminate.

Aceeași situație se regăsește și în sistemele biologice. În mod normal, sistemele biologice prezintă unele activități ritmice, cum ar fi, de exemplu, trecerea de la starea de veghe la starea de somn, și invers, migrațiunile păsărilor etc.

Dar, există și posibilitatea apariției unor oscilații nedorite, cum este, de exemplu, cazul maladiei lui Parkinson, cînd membrele au o mișcare de oscilație.

În unele situații, atunci cînd un bolnav încearcă să întindă mîna pentru a apuca un anumit obiect, mîna lui deviază de la

linia obiectului depășindu-l și el nu poate apuca obiectul decît în urma unor serii de oscilații din ce în ce mai mici, efectuate în jurul acelui obiect.

Dar, în interiorul sistemelor tehnice, se pot pune în evidență o serie întreagă de proprietăți ale sistemelor cu reacție. Este uzual ca proprietățile sistemelor să se studieze în funcție de răspunsul lor la un semnal de comandă bine precizat. De obicei, la intrare se aplică un semnal în formă de treaptă. Din punct de

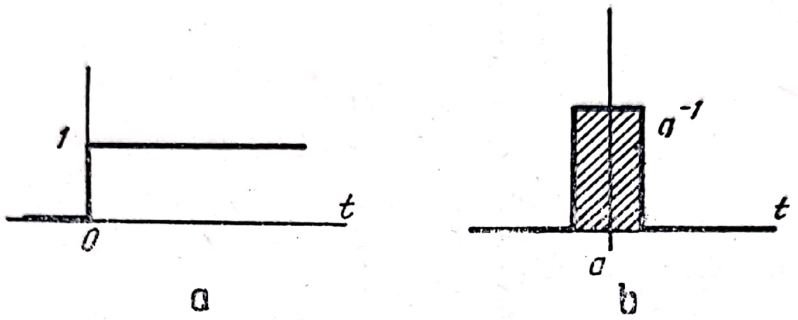


Fig. 12.8

vedere matematic, această funcție se definește ca avînd o valoare egală cu 0, pentru momentele anterioare aplicării ei și o valoare 1, din momentul în care se aplică și pînă la infinit. Această funcție se numește *funcție-unitate* sau *funcție Heaviside*, reprezentată grafic în fig. 12.8, *a*.

Un alt mod de a proceda constă în a da în mod brusc un impuls sistemului și a observa reacțiunea sa. Impulsul poate fi considerat ca avînd o valoare nulă pentru orice moment, exceptînd momentul aplicării sale, cînd are valoarea ∞. Un astfel de impuls se poate considera ca limita impulsului din fig. 12.8, *b*, — de arie egală cu unitatea — pentru $a \to 0$ și se numește *impuls* δ sau *impuls Dirac*.

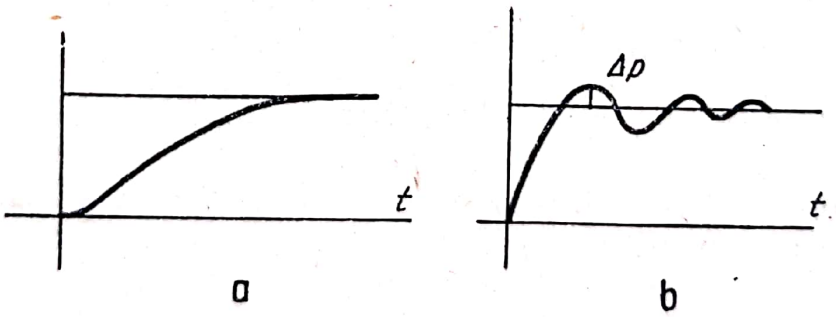


Fig. 12.9

La un semnal treaptă, în unele cazuri, răspunsul sistemului este aperiodic, în sensul că mărimea de ieșire variază în timp, așa cum se arată în fig. 12.9, *a*, atingînd valoarea prescrisă după

un anumit interval de timp. În alte cazuri, sistemul evoluează ca în fig. 12.9, *b*, cînd la ieşire apare un răspuns oscilatoriu amortizat.

Astfel de situaţii se întîlnesc şi în anumite cazuri în sistemele biologice.

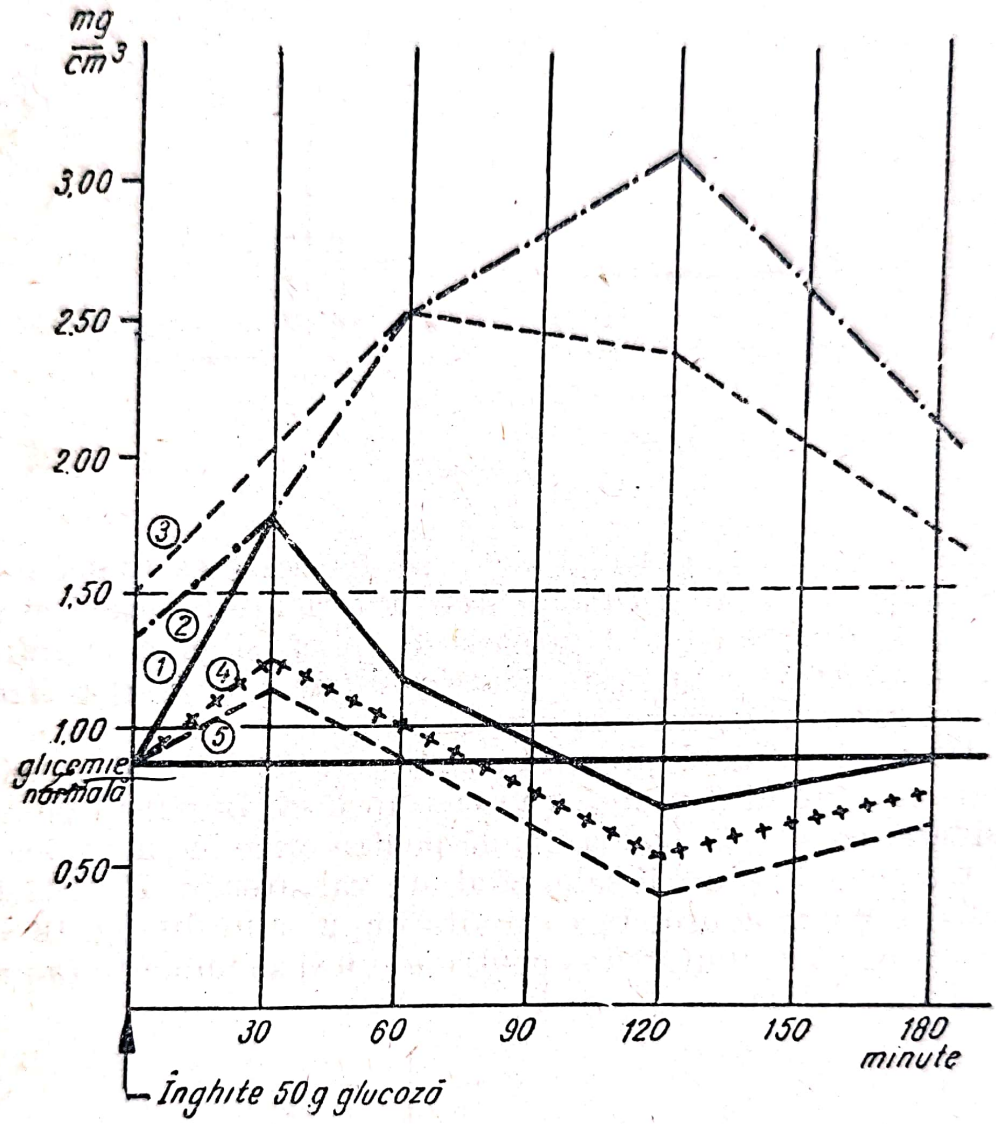


Fig. 12.10

Se observă că în cazul sistemului cu răspuns oscilant, apare o aşa-numită *supracreştere* Δp sau *suprareglare*, o depăşire a mărimii comandate, care însă apoi dispare.

Un exemplu tipic de funcţionare a unui sistem fiziologic cu reacţie este urmărirea sistemului care comandă concentraţia glucozei în sînge.

Pentru a controla funcţionarea anumitor sisteme de reglare din organismul uman, se provoacă o creştere temporară

a concentrației glucozei în sînge. Pentru aceasta se înghite o anumită cantitate de glucoză, după care din 30 în 30 minute se dozează glucoza din sînge. Stimulul este deci de tipul $\delta(t)$. Variația în timp a glicemiei poate evolua în diferite moduri, așa cum se arată în fig. 12,10, în curbele numerotate de la *1* la *5*.

Curba normală *1* în cazul hiperglicemiei provocate prezintă întîi o creștere peste normal, după care apare o scădere, produsă de sistemele de control din organism. Este interesant de arătat că scăderea glicemiei continuă timp mai îndelungat, astfel încît după circa două ore de la începerea experienței, concentrația glucozei din sînge scade sub valoarea normală — ca rezultat al acțiunii unor factori de reglare care provoacă tocmai scăderea concentrației de glucoză din sînge.

Există anumite afecțiuni, cum ar fi diabetul insulinic *2* sau boala lui Cushing *3*, în care concentrația de glucoză din sînge scade mult mai lent, tocmai datorită faptului că sistemele care provoacă scăderea glucozei nu funcționează normal.

Dimpotrivă, în insuficiența hipofizară *4*, ca și în boala lui Addison *5*, scăderea glicemiei este mult mai pronunțată decît în cazul normal.

În momentul de față, în biologie se aplică tot mai mult datele obținute de teoria reglării automate, putîndu-se astfel explica numeroase aspecte normale și patologice.

13. CIBERNETICA ȘI LINGVISTICA

1. Datorită ciberneticii, în numeroase domenii de activitate umană s-au produs schimbări profunde. Discipline care păreau deplin cristalizate au cunoscut un nou avînt. Această situație se observă foarte pronunțat și în lingvistică. Astfel, în studii moderne de gramatică întîlnim expresii de forma :

„Se dă o mulțime finită $\Xi = \{x\}$ de elemente x numite *cuvinte*. Cortegiile de cuvinte, adică sistemele ordonate finite de cuvinte în care se admit repetiții se numesc *fraze* și se notează $A = x_1x_2x_3 \ldots x_n$. Se dă o mulțime de fraze $\theta = \{A\}$; frazele aparținînd acestei mulțimi se numesc *marcate*. Se dă un sistem de submulțimi disjuncte ale mulțimii Ξ numite *vecinătăți* ale elementelor care intră în ele; vecinătatea elementului x o notăm cu $\Gamma(x)$.

Subliniem încă o dată că noțiunile: „cuvînt", „frază marcată" și „vecinătate" nu se definesc".

Astfel de studii importante privind definirea noțiunilor gramaticale pe baza teoriei mulțimilor sînt în directă legătură cu probemele traducerii mecanice, deci cu utilizarea calculatoarelor electronice în lingvistică.

2. În primul rînd ne vom ocupa de utilizarea calculatoarelor în scopuri statistice. Menționăm că aceasta se poate face în următoarele direcții: determinarea frecvenței literelor și a grupărilor de litere, determinarea frecvenței cuvintelor, traducerea mecanică, determinarea frecvenței fonemelor.

Determinarea frecvenței literelor este o problemă relativ veche, care a format obiectul a numeroase cercetări în străinătate încă înainte de apariția mașinilor electronice de calcul cu funcționare rapidă. În ceea ce privește limba noastră, statisticile sînt relativ puține; după părerea noastră cel mai lung text studiat fiind de aproximativ 40 000 de semne, totalitatea textelor analizate nedepășind 350 000 de semne.

Tehnica oferă astăzi posibilitatea de a determina rapid frecvența semnelor din textele date. Pentru aceasta este suficient să se adapteze un număr corespunzător de contoare la o mașină de scris electrică, după o schemă relativ simplă. Cu acest aparat se poate conta pe o productivitate de circa 20 000 de semne pe oră, ceea ce înseamnă că timp de 18 ore se pot analiza texte de o lungime egală cu toate textele analizate pînă în prezent.

Cu unele modificări, mașina poate fi utilizată și pentru determinarea frecvenței grupurilor de mai multe litere (a digramelor, trigramelor etc.). Pe măsura creșterii numărului de semne luate într-o combinație, problema devine mai dificilă, astfel încît este mai indicat să se construiască un calculator electronic de tip special, cu o memorie magnetică, care să efectueze automat aceste munci statistice.

Problema determinării frecvenței literelor și a grupărilor de litere are o aplicație imediată la stabilirea entropiei textelor analizate.

3. Pentru determinarea frecvenței cuvintelor din texte, foarte indicate sînt calculatoarele electronice.

Frecvența cuvintelor îi interesează foarte mult pe lingviști fiind în directă legătură cu problema centrală a determinării fondului principal de cuvinte.

Problema nu este nouă în lingvistica noastră, B.P. Hașdeu fiind primul care a formulat-o în teoria sa „Circulația cuvintelor".

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a rezolva o astfel de problemă, lingviştilor le revine sarcina de a stabili criterii de clasificare a cuvintelor şi, în primul rînd, problema flexionării cuvintelor.

Deoarece s-au făcut studii similare pentru limbi flexionare, lingviştii noştri se pot inspira din metodele respective, preluîndu-le în mod critic.

Determinarea fondului de cuvinte ridică însă şi alte probleme, cum ar fi, de exemplu, separarea de către maşină a omonimelor.

4. O altă serie de probleme care pot fi tratate cu ajutorul maşinilor electronice este aceea a studiilor fonetice.

Operaţia este, în general, destul de dificilă, deoarece, spre deosebire de textele scrise unde nu există nici o ambiguitate asupra caracterelor, şi deci nu există nici posibilitatea interpretării textelor în ceea ce priveşte frecvenţa de apariţie a caracterelor, în transcrierea fonetică a textelor apar dificultăţi importante. Aceste dificultăţi sînt legate indiscutabil de faptul că actualmente lipsesc criterii obiective de recunoaştere a fonemelor.

La *Centrul de fonetică şi dialectologie* al Academiei R. P. R., un colectiv condus de acad. *Al. Rosetti* a început unele cercetări privind fonemele limbii romîne.

Tehnica electronică permite astăzi să se creeze aparate care să identifice în mod obiectiv sunetele.

La Institutul Politehnic din Bucureşti s-a realizat un aparat, cu ajutorul căruia se pot recunoaşte automat vocalele limbii romîne. Aparatul este descris în capitolul „Inteligenţa artificială".

Asociind un astfel de aparat cu un calculator electronic, s-ar putea rezolva problema, neatacată încă pe plan mondial, a determinării corecte a entropiei limbii vorbite.

Utilizîndu-se un mare număr de înregistrări de convorbiri telefonice, s-ar putea determina care este structura statistică a limbii vorbite la telefon şi s-ar putea calcula entropia ei.

Acest aparat ar înlocui obişnuita maşină de scris de la calculatoarele care lucrează pe texte scrise, permiţînd să se determine funcţiile de autocorelaţie, frecvenţele grupărilor de foneme, a cuvintelor etc. Aceste studii ar fi deosebit de valoroase.

5. Este însă un domeniu în care încă de pe acum maşinile electronice de calcul au dus la apariţia unei ştiinţe cu totul nouă, cel puţin la prima vedere : este vorba de traducerea mecanică.

Scanned with OKEN Scanner

Începînd din ianuarie 1954, cînd compania IBM a efectuat prima demonstrație publică de traducere din limba engleză în limba rusă, și pînă astăzi tehnica și teoria traducerii mecanice au cunoscut un avînt extraordinar. Nenumărate congrese și reviste speciale sînt consacrate acestei probleme. Studii speciale s-au făcut referitor la traducerea din limba rusă în limba engleză, din limbile engleză, franceză, chineză și japoneză în limba rusă etc.

Ideea traducerii mecanice nu este nouă. Încă din anul 1933, P. P. Smirnov-Troianski a brevetat la Moscova o mașină care trebuia să permită „alegerea și imprimarea cuvintelor pentru a traduce o limbă în alta". Mașina trebuia să aibă un tabulator mecanic, care să funcționeze ca dicționar, cuprinzînd aproximativ 1 000 de cuvinte, și care ar fi permis ca două persoane care nu cunosc, fiecare, decît cîte o singură limbă, să efectueze în mod automat traduceri.

Ideea lui Smirnov-Troianski era prea îndrăzneață pentru a fi aplicată imediat. Ea a întîlnit o opoziție îndîrjită din partea lingviștilor. De-abia la 30 iulie 1944, adică la 11 ani după brevetarea invenției, a fost convocată la Moscova o conferință la Institutul de automatică și telemecanică pentru a examina acest proiect.

Cu această ocazie s-a procedat la efectuarea unei traduceri din limba rusă în limba franceză. Dîndu-se textul rus, mașina a tradus cuvintele și o serie de indicații gramaticale exprimate sub formă de cifre. Pe baza acestui text redactorul de limbă franceză a stabilit textul corect.

Cu toate că rezultatele au fost încurajatoare, tehnicienii și lingviștii întruniți la această conferință au susținut „imposibilitatea" traducerii mecanice.

Istoria însă a dovedit contrariul, deoarece s-au realizat traduceri mecanice, care au dat rezultate deosebit de bune.

Înainte de a intra în amănunte, este însă necesar să lămurim cum de este posibil ca mașina să efectueze traduceri.

De la început trebuie avut în vedere faptul că mașina electronică de calcul nu lucrează nici cu numere, nici cu litere, ci cu impulsuri electrice.

Devine clar că nimic nu ne împiedică să acordăm acestor impulsuri semnificația, de pildă a unor litere, care în dispozitivul de intrare au semnificația literelor din limba din care se traduce, și la ieșire au semnificația literelor din limba în care se traduce. Toată problema constă în fixarea regulilor după care

mașina trebuie să prelucreze aceste impulsuri pentru a da o traducere corectă dintr-o limbă în alta.

Cum de cele mai multe ori mașinile de calcul lucrează în sistem binar, adică utilizează un alfabet care are numai două litere pe care le notăm cu 0 și 1, este necesar să traducem toate literele în cuvinte ale acestui alfabet. Atunci cînd pe dispozitivul de intrare al mașinii de calcul se imprimă caracterul *A*, aceasta înseamnă de fapt că în mașină s-a introdus de exemplu 1010100.

Prima problemă care se pune constă în a vedea în linii mari care este structura funcțională a unei mașini de tradus automat. Utilizînd o metodă generală cibernetică, vom face după aceasta o paralelă între modul în care traduce un om și modul în care traduce mașina.

În fața unui text dat, traducătorul dispunînd de un dicționar bilingv și de gramaticile celor două limbi, începe să caute cuvînt cu cuvînt notînd cuvintele pe care le poate traduce și ordinea lor.

Dar, această muncă nu poate fi continuată mult timp, deoarece apar o serie de cuvinte care nu figurează în dicționar. După cum se știe, în dicționar apare numai forma nominativ singular a substantivelor și infinitivul verbelor. În texte însă, aceste cuvinte apar flexionate.

În acest caz traducătorul se ajută de regulile gramaticale pentru a găsi cuvintele căutate în dicționar. Găsindu-le și pe acestea, el le notează semnificația. La toate cuvintele, alături de echivalentul în limba în care traduce, el notează indicații gramaticale privind cuvîntul respectiv.

Pentru a fixa ideile, să considerăm un exemplu privind traducerea din engleză în romînă.

Fie, de exemplu, următoarea frază dintr-un text tehnico-științific. *All these operations can be done almost automatically by punchcard machines.*

Citind un astfel de text, traducătorul își dă seama că cuvintele „can" și „be" sînt verbe și figurează în compoziția predicatului. El traduce aceste cuvinte prin „pot fi". În modul acesta traducătorul poate trece la determinarea subiectului care este format din cuvintele „all these operations".

Să presupunem că traducătorul cunoaște de asemenea cuvintele : „all", „operations", „automatically", „machines".

Procedînd la o traducere, cuvînt cu cuvînt, el poate să formeze următoarea frază :

Toate these operații pot fi done almost automat by mașini punchcard.

Cu aceasta traducătorul a epuizat cuvintele pe care le ținea minte. El poate merge mai departe, utilizînd dicționarul. Cuvîntul ,,almost'' îl întîlnește în dicționar cu o singură explicație, și anume ,,aproape''. Cuvîntul ,,these'' de asemenea nu prezintă dificultăți deosebite deoarece găsește în dicționar semnificația cerută, după o singură trimitere la cuvîntul ,,this''.

Lucrurile devin mult mai complicate la cuvîntul ,,done''. Traducătorul constată că ,,done'' este în legătură cu cuvîntul ,,do''. Dacă el caută în dicționar acest termen, este pus într-o mare încurcătură, cuvîntul ,,do'' avînd foarte multe semnificații.

În sfîrșit traducătorul nu va găsi în dicționar cuvîntul ,,punchcard''. Dacă el nu este specialist în mașini de calcul, va căuta să facă diferite legături între cuvintele ,,a găuri'' și ,,hartă''. Dar, probabil că va lăsa pînă la urmă în text cuvîntul sub forma lui originală, astfel încît textul va fi prezentat de dînsul sub forma următoare :

Toate aceste operații pot fi făcute aproape automat de mașinile punchcard.

Aceasta arată că el a ales pentru ,,do'' accepția de ,,a face''.

Revăzînd textul, traducătorul va modifica textul său astfel :

Toate aceste operații pot fi efectuate automat de mașinile punchcard, schimbînd semnificația verbului ,,do'' și adoptînd acea semnificație care, prin caracterul textului, corespunde mai bine consensului.

În sfîrșit el poate schimba ordinea cuvintelor, scriind fraza :

Toate aceste operații pot fi efectuate de mașinile punchcard aproape automat.

Traducătorul-om poate proceda acum în două moduri diferite, și anume : poate crea un cuvînt nou ,,pancicard'' sau se poate adresa unui specialist care îl lămurește că ,,punchcard'' sînt de fapt mașinile cu cartele perforate.

În acest al doilea caz, fraza primește forma definitivă :

Toate aceste operații pot fi efectuate cu mașinile cu cartele perforate aproape automat.

Dacă recapitulăm modul de lucru al traducătorului nostru constatăm următorul procedeu :

1) Citirea frazei de tradus.

2) Compararea tuturor cuvintelor frazei cu cuvintele pe care le ține minte traducătorul și alegerea acelor cuvinte care coincid ; determinarea semnificațiilor și lămurirea unora dintre semnificațiile gramaticale.

3) Găsirea unor semnificații gramaticale suplimenare pentru cuvintele extrase la punctul 2, comparîndu-le între ele și cu celelalte cuvinte din frază.

4) Căutarea celorlalte cuvinte în dicționar, determinarea sensului lor și a semnificațiilor gramaticale : a) determinarea directă a cuvintelor cu un singur înțeles ; b) căutarea cuvintelor cu trimitere ; c) alegerea semnificației cuvintelor cu mai multe sensuri, comparîndu-le cu celelalte cuvinte din frază.

5) Scoaterea cuvintelor care nu trebuie să figureze în traducere.

6) Formara frazei în limba în care o traduce, din cuvintele găsite la punctele 2 și 4, în conformitate cu semnificațiile gramaticale determinate la punctele 2, 3 și 4.

7) Punerea în evidență a cuvintelor care nu figurează în dicționarul obișnuit, pentru a fi determinate prin alte mijloace.

8) Îmbunătățirea redactării frazei.

Experiența arată că toate operațiile efectuate de traducători pot fi automatizate.

Pentru aceasta, în primul rînd este necesar să se elaboreze un dicționar bilingv. Aceasta se poate realiza introducînd în memoria mașinii cele două categorii de cuvinte.

Alcătuirea dicționarului automat nu este desigur ușoară. Deoarece în general traducerea automată este aplicată textelor speciale, mai ales științifice, aceste dicționare pot avea o capacitate mică, cuprinzînd aproximativ 1 000 de cuvinte generale și 1 000 de termeni de specialitate.

Problema cuvintelor polisemantice este, de asemenea, mult simplificată în cazul traducerii de texte speciale. De exemplu, cuvîntul englez „consider" poate avea următoarele semnificații : a considera, a raționa, a gîndi, a respecta, a socoti, a lua drept, a presupune. Într-un text științific acest cuvînt are o singură semnificație, și anume „a considera".

În sfîrșit, trebuie amintit că ordinea cuvintelor și structura unei fraze într-un text tehnico-științific sînt mult mai simple decît în textele beletristice, astfel încît traducerea automată poate fi mult simplificată.

Rezultă că devine posibilă automatizarea operațiilor de traducere.

Să urmărim pe rînd modul în care pot fi automatizate cele opt operații amintite anterior.

Operația de citire a frazei de către mașină poate fi complet automatizată. Pentru aceasta stau la dispoziție două procedee, dintre care unul complet automat și altul semiautomat.

Scanned with OKEN Scanner

În procedeul semiautomat, un operator introduce pe o bandă perforată textul, traducînd adică textul inițial sub forma unei succesiuni de perforații. Mașina interpretează perforațiile ca pe niște semnale cu care operează. Viteza de lucru a unei astfel de mașini semiautomate este de ordinul a cinci caractere pe secundă.

Procedeele electronice actuale permit efectuarea unei citiri mult mai rapide, în ritmul de 300 caractere pe secundă. Operațiile 2, 3 și 4 pot fi, de asemenea, automatizate, așa cum am văzut. Dar, în timp ce operația 2 este relativ simplă, operația 4 necesită studii speciale.

Operațiile 3 și 5 necesită și ele o prelucrare specială. Problema lingvistică fundamentală care se pune la automatizarea unei traduceri constă în formarea schemelor care permit efectuarea unor astfel de operații.

Operația 6 se automatizează fără dificultăți, deoarece cunoscînd cuvintele și rolul pe care-l au ele în propoziție, precum și caracteristicile lor gramaticale, putem forma fraze corecte, după reguli date. Ultimele operații pot fi și ele automatizate, ținîndu-se seama că ordinea cuvintelor este dată de reguli precise.

Să vedem unele detalii asupra modului în care se poate automatiza traducerea unui text, începînd cu părțile cele mai elementare.

Prima problemă care se pune este aceea de introducere a textului.

În acest sens se poate utiliza o mașină de scris cu claviatură normală cu unele mici modificări.

Partea de dicționar a mașinii este o problemă centrală a calculatoarelor electronice. În general este indicat ca acest dicționar să fie constituit din două părți, și anume : o parte cuprinzînd cuvintele generale și a doua parte cuprinzînd termenii speciali.

În dicționar cuvintele trebuie dispuse după frecvența lor. Cuvintele foarte frecvente trebuie dispuse în memoria rapidă, iar termenii mai puțin frecvenți în partea de memorie lentă.

Dicționarul trebuie astfel organizat încît să dea indicații asupra unui număr cît mai mare de termeni.

Deoarece capacitatea de „judecată" a calculatoarelor electronice diferă net de aceea a omului, dicționarele electronice se organizează după reguli speciale.

După cum am amintit, în dicționarele curente nu se dau decît anumite forme ale verbelor și substantivelor. În general,

Scanned with OKEN Scanner

acest procedeu nu poate fi adoptat ad litteram de mașina electronică.

Din această cauză, în tehnica calculatoarelor electronice se utilizează un alt procedeu care recurge la așa-numitul „stem" definit ca cea mai lungă parte a unui cuvînt, parte comună tuturor formelor sale flexionate. Pentru acest motiv, în ultimul timp se dă multă atenție determinării stemelor din diferitele limbi.

Este interesant să arătăm că se pot realiza traduceri chiar cu un număr foarte mic de cuvinte, rămînînd bineînțeles, la texte cu un conținut sărăcăcios.

O a doua problemă care se pune în fața constructorilor este aceea de „a învăța" mașina gramatica limbii respective.

Aceasta duce la formarea unor subprograme de reducere a terminațiilor.

Fie, de exemplu, un cuvînt care nu există în dicționar. În scopul urmăririi formelor sale, se caută în mod automat dacă cuvîntul are cumva terminația *-'s*, ceea ce arată că cuvîntul respectiv este la genitiv.

Dacă răspunsul este afirmativ, atunci se omite terminația *-'s* și se caută dacă partea respectivă există în dicționar.

În caz contrar, se transcrie literă cu literă la ieșire, pentru a fi prelucrat ulterior de traducătorul om.

Dacă terminația nu este *-'s* atunci se trece la căutarea altei terminații, după o schemă logică.

În literatura de specialitate se dau exemple de astfel de scheme. De exemplu, se încearcă succesiv terminațiile

-'s, -s, -ing, -ed, -er, -est, -e, -th.

În tabela 3 se dă un subprogram al calculatorului BESM pentru traducerea din limba engleză în limba rusă.

Programul trebuie interpretat așa cum se arată în cele ce urmează. Ordinele sînt numerotate și se execută începînd cu nr. 1. La fiecare ordin se indică explicit o anumită condiție logică ce trebuie verificată. În paranteză se notează în primul rînd ordinul la care se trece atunci cînd condiția este îndeplinită și apoi ordinul la care se trece în caz contrar. De exemplu, la ordinul 1 trebuie să se verifice dacă un anumit cuvînt, așa cum se întîlnește el în textul de tradus, figurează sau nu în dicționar. În caz afirmativ adică atunci cînd cuvîntul se găsește în dicționar, se trece la ordinul 29 *a*; în caz contrar se trece la ordinul 2.

Referitor la acest subprogram trebuie făcute cîteva observații.

Scanned with OKEN Scanner

Subprograma de reducere a desinenţelor

1	(29 *a*, 2)	Se verifică dacă cuvîntul examinat figurează în dicţionar
2	(3 *a*, 3 *b*)	Se verifică dacă este vorba despre o formulă
3 *a*	(15 *b*, 4 *a*)	Se verifică dacă ultimele două litere sînt *'s*
b	(15 *a*, 4 *b*)	
4 *a*	(14 *p*, 9 *b*)	Se verifică dacă ultima literă este *'*
b	(14 *a*, 5 *a*)	
5 *a*	(14 *b*, 6 *a*)	Se verifică dacă ultima literă (din ceea ce a rămas) este *s**
b	(14 *d*, 30 *b*)	
6 *a*	(16 *b*, 7)	Se verifică dacă ultimele trei litere (din ceea ce a rămas) sînt *ing**
b	(16 *b*, 14 *c*)	
7	(14 *e*, 8)	Se verifică dacă ultimele două litere sînt *ed** sau *er**
8	(15 *e*, 9 *a*)	Se verifică dacă ultimele trei litere sînt *est**
9 *a*	(14 *h*, 10)	Se verifică dacă ultimele două litere sînt *th**
b	(15 *f*, 35)	
10	(16 *e*, 11)	Se verifică dacă ultimele trei litere sînt *ian*
11	(14 *e*, 12)	Se verifică dacă ultima literă este *a**
12	(14 *m*, 13)	Se verifică dacă ultima literă este *i **
13	(17, 34)	Se verifică dacă ultimele trei litere sînt *men **

14 *a*	(28 *c*)	*h*	(28 *s*)	Se lasă ultima literă din ceea ce a rămas din cuvînt
b	(28 *b*)	*k*	(28 *t*)	
c	(28 *d*)	*l*	(25)	
d	(28 *a*)	*m*	(27)	
e	(28 *n*)	*n*	(20)	
f	(28 *p*)	*p*	(30 *a*)	
g	(28 *r*)			
15 *a*	(28 *a*)	*d*	(28 *m*)	Se lasă ultimele două litere din ceea ce a rămas din cuvînt
b	(30 *a*)	*e*	(28 *n*)	
c	(24)	*f*	(31)	
		h	(26)	
16 *a*	(21) *a*)	*d*	(19)	Se lasă ultimele trei litere din ceea ce a rămas din cuvînt
b	(28 *k*)	*e*	(28 *z*)	
c	(21 *c*)			

17	(28 *h*)	Se înlocuieşte ultima literă prin *a*
18	(28 *e*)	Se adaugă *is* la ceea ce a rămas din cuvînt
19	(28 *h*)	Se adaugă *ex* la ceea ce a rămas din cuvînt
20	(28 *g*)	Se adaugă *fe* la ceea ce a rămas din cuvînt
21 *a*	(28 *f*)	Se adaugă *y* la ceea ce a rămas din cuvînt
b	(28 *h*)	
c	(28 *w*)	
22 *a*	(28 *l*)	Se adaugă *e* la ceea ce a rămas din cuvînt
b	(28 *v*)	
23	(28 *h*)	Se adaugă *ie* la ceea ce a rămas din cuvînt
24	(28 *u*)	Se adaugă *ve* la ceea ce a rămas din cuvînt
25	(28 *y*)	Se adaugă *um* la ceea ce a rămas din cuvînt
26	(28 *h*)	Se adaugă *on* la ceea ce a rămas din cuvînt
27	(28 *h*)	Se adaugă *us* la ceea ce a rămas din cuvînt

Scanned with OKEN Scanner

28 *a* (29 *b*, 30 *b*)		Se verifică dacă ceea ce a rămas din cuvînt se găseşte în dicţionar
	b (29 *a*, 6 *b*)	
	c (29 *b*, 5 *b*)	
	d (29 *a*, 18)	
	e (29 *a*, 16 *a*)	
	f (29 *a*, 14 *n*)	
	g (29 *a*, 16 *d*)	
	h (29 *a*, 34)	
	k (29 *a*, 22 *a*)	
	l (29 *a*, 15 *d*)	
	m (29 *a*, 23)	
	n (29 *a*, 14 *f*)	
	p (29 *a*, 14 *g*)	
	r (29 *a*, 21 *b*)	
	s (29 *c*, 14 *k*)	
	t (29 *c*, 22 *b*)	
	u (29 *c*, 16 *c*)	
	v (29 *c*, 15 *c*)	
	w (29 *c*, 34)	
	y (29 *a*, 15 *h*)	
	z (29 *b*, 34)	
29 *a* (35)		Se extrage informaţia din dicţionar
b (33)		
c (31)		
30 *a* (32)		Se inserează indicele „substantiv”
b (33)		
31 (35)		Se inserează indicele „adjectiv”
32 (35)		Se inserează indicele „plural”
33 (35)		Se inserează indicele „genitiv”
34 (35)		Se inserează indicele „cuvînt necunoscut” şi se înmagazinează cuvîntul englez pentru a fi transliterat în fraza rusă
35 (0,1)		Se alege cuvîntul următor, care nu are indicaţia „semn de punctuaţie” şi se verifică dacă nu este vorba despre un „punct”.

1. Subprogramul nu prevede :

a) reconstrucţia formelor verbelor neregulate, ca şi reconstrucţia anumitor forme neregulate de substantive, de adjective numerale, de adjective şi adverbe înmagazinate în dicţionar ;

b) analiza formelor contractate, ca „...*'ll*”, „...*'d*”, „...*'s*” în „*I'll*”, „*we 'd*”, „*he's*” dat fiind că aceste forme nu sînt tipice pentru textele ştiinţifice.

2. De îndată ce cuvîntul examinat e găsit în dicţionar, el este înlocuit prin forma sa de bază, iar indicele „flexionat” este inserat pentru toate cuvintele a căror desinenţă poartă indicaţia (*).

3. Indicaţia „semn de punctuaţie” nu însoţeşte decît semnele care trebuie analizate în cadrul subprogramului de analiză corespunzător.

4. În tabela 3 s-au adoptat următoarele simboluri: $A(B, C)$ înseamnă că dacă răspunsul la intrarea A este pozitiv, atunci se trece la B; în caz contrar, la C. Notația $A(B)$ înseamnă că totdeauna după A urmează B. Notația $A(O)$ înseamnă oprirea procesului.

5. Avînd în vedere rezultatele deosebit de încurajatoare care au fost obținute recent, în momentul de față există numeroase centre care se ocupă de problema traducerii mecanice.

Institutul de mecanică de precizie și de calcul numeric din Moscova lucrează în domeniul analizei următoarelor limbi: engleză, franceză, germană, chineză și japoneză, în scopul traducerii lor în rusă și al utilizării limbii ruse ca limbă intermediară.

În unele centre se urmărește construirea unei limbi pivot artificială, care să poată servi în același timp la traducerea mecanică și la documentarea automată.

Dar ce se înțelege prin limbă-pivot?

Atunci cînd se fac traduceri numai dintr-o limbă dată în altă limbă dată, mașina are un singur program fix. Dacă este însă necesar să se facă traduceri între mai multe limbi, lucrurile se complică. Dacă avem de-a face cu trei limbi-A, B, C-atunci este necesar să dispunem de șase programe, pentru a efectua traducerile

$$A \to B,\ B \to C,\ C \to A,\ B \to A,\ C \to B,\ A \to C.$$

În cazul a n limbi, este nevoie de $n(n-1)$ programe, toate diferite. De exemplu, pentru 10 limbi, este nevoie de 90 de programe.

Dar se poate proceda și altfel, adoptînd o limbă centrală, pivot, o limbă intermediară, în care și din care se traduc toate textele. Aceasta face ca numărul programelor să scadă la $2n$, adică la 20 în cazul nostru (10 limbi).

Studiile actuale nu au precizat încă dacă limba-pivot ideală este una din limbile actuale sau ar fi de preferat o limbă specială a mașinii.

Astăzi traducerea mecanică este încă o încercare de laborator. În curînd însă ea va fi o realitate care va intra în practica curentă.

În ce privește traducerea din limba rusă în limba romînă cu metode mecanizate, credem că este de mare importanță utilizarea rezultatelor deja obținute de cercetătorii care s-au ocupat de analizarea structurii specifice a limbii ruse, în vederea traducerii ei în alte limbi.

Scanned with OKEN Scanner

Trebuie menționate și încercările făcute de a sintetiza texte, utilizînd algoritmii structurii gramaticale și șiruri de numere întîmplătoare. Deși aceste încercări nu au nici pe departe marea importanță practică pe care o au traducerile mecanice, ele reprezintă totuși o încercare îndrăzneață.

6. În concluzie putem spune că și în acest domeniu, ca și în oricare altul, mașina electronică de calcul nu este decît un auxiliar al omului, permițîndu-i efectuarea unor munci de rutină. Ca să folosim o comparație uzuală, mașina electronică de calcul poate face foarte bine, întrecînd pe om în rapiditate și precizie, ceva care ar corespunde unui segment de dreaptă, omului revenindu-i întreaga dreaptă. Astfel, de exemplu, o mașină de calcul poate stabili în mod rapid frecvența cuvintelor dintr-un text literar, determinînd stilul specific unui scriitor. După aceasta, plecînd de la texte sigure, mașina va putea să decidă sau mai exact să dea indicații asupra paternității unor opere de proveniență incertă. În acest sens, de exemplu, la noi s-a încercat stabilirea problemei paternității privind opera literară „Cîntarea Romîniei". Este oare Bălcescu sau Russo autorul ei ?

Utilizarea calculatoarelor electronice a introdus cu adevărat un spirit nou în lingvistică. Probleme noi și multiple apar în fața cercetătorilor : studii structurale, microgramatici, problema determinării algoritmilor traducerilor dintr-o limbă în alta. Mai mult, astăzi există unii cercetători care consideră că gramatica unei limbi nu este ceva dat, ci este o mărime determinată implicit prin toate frazele unei limbi. În aceste condiții numai mașinile matematice ar putea determina gramatica în cauză.

La noi în țară studii privind o gramatică completă a limbii romîne au fost întreprinse de acad. *Gr. C. Moisil*.

7. În țara noastră primele experiențe de traducere din limba engleză în limba romînă s-au efectuat în anul 1962, la Timișoara, sub directa conducere a acad. Gr. C. Moisil.

În fig. 13.1 este reprezentată organigrama elaborată de E. Domoncoș, pentru traducerea din limba engleză în limba romînă.

Textul care trebuie tradus este codificat sub forma unor perforații, fiecare literă fiind pusă în corespondență cu un grup de cinci cifre binare.

Banda este adusă la intrarea în mașină unde e citită literă cu literă. Fiecare cuvînt intră în dicționar, unde este căutat, întîi pe calea *I*. Dacă este găsit, el trece mai departe în matricea locațiilor de cercetare, care este un sistem cu o intrare

Scanned with OKEN Scanner

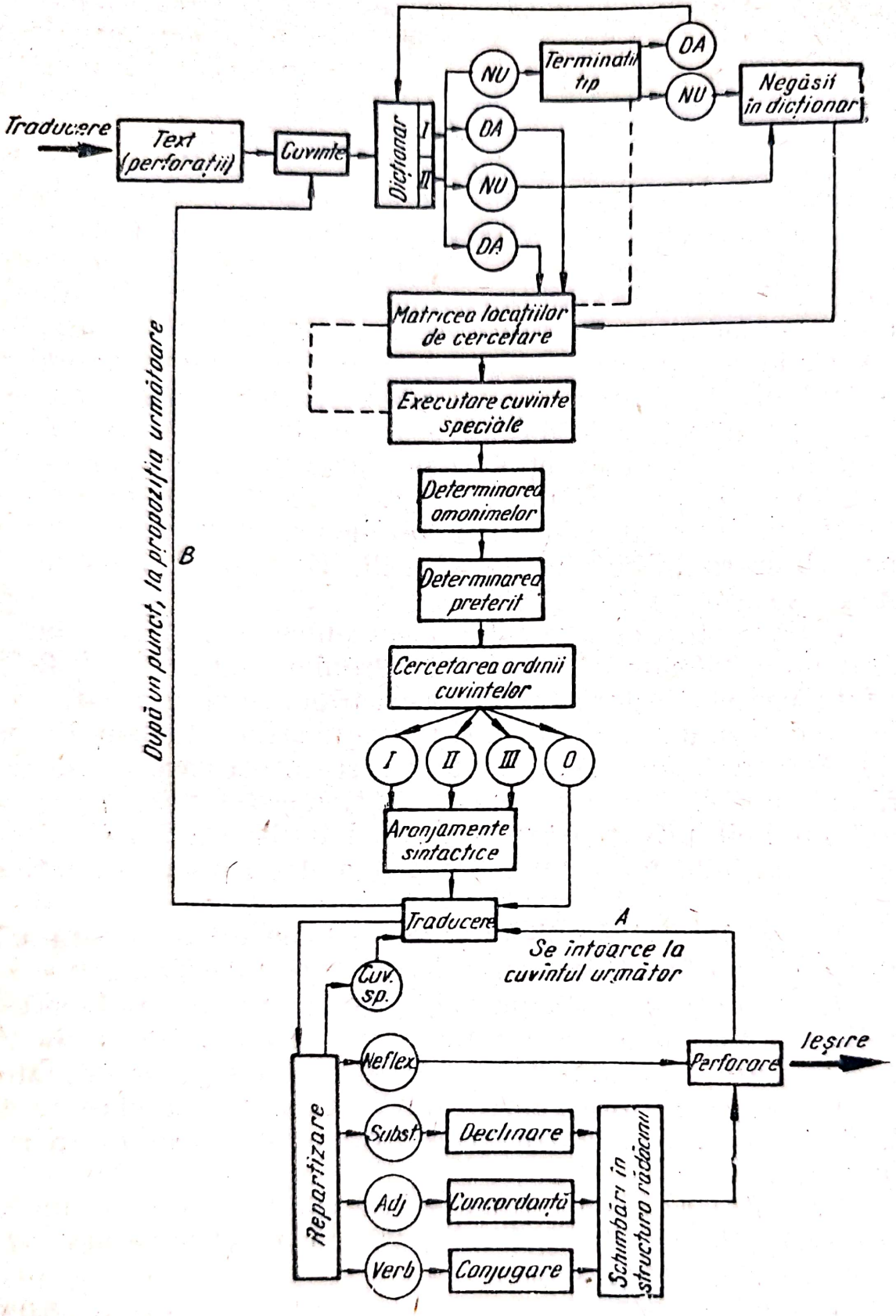

Traducere
Text (perforații)
Cuvinte
Dicționar
I
II
NU
DA
NU
DA
Terminații tip
DA
NU
Negăsit în dicționar
Matricea locațiilor de cercetare
Executare cuvinte speciale
Determinarea omonimelor
Determinarea preterit
Cercetarea ordinii cuvintelor
I
II
III
0
Aranjamente sintactice
Traducere
A
Se întoarce la cuvîntul următor
B
După un punct, la propoziția următoare
Cuv. sp.
Reflex
Perforare
Ieșire
Repartizare
Subst.
Declinare
Adj
Concordanță
Verb
Conjugare
Schimbări în structura rădăcinii

Fig. 13.1

și cu o ieșire. Cuvintele care trebuie traduse sînt transpuse aici în limba mașinii.

Dacă cuvîntul nu este găsit în dicționar, el trece la programul de căutare a terminațiilor tip. Dacă are una din terminațiile specifice limbii engleze (*-s, s', -ed* etc.), atunci se lasă la o parte terminația și cuvîntul intră din nou în dicționar pentru a fi căutat a doua oară (calea *II*). Dacă, după lăsarea la o parte a terminației caracteristice, cuvîntul e găsit în dicționar, el este trimis în matricea locațiilor de cercetare și, în caz contrar, urmează drumul cuvintelor negăsite în dicționar. Dacă cuvîntul nu este găsit în dicționar nici de data aceasta și nici nu are una din terminațiile tip, înseamnă că el nu figurează în dicționar și deci este trimis în matricea locațiilor de cercetare. Astfel de situații se ivesc mai ales la nume proprii, la formule matematice și, evident, la cuvinte care nu au fost incluse în dicționar.

În matricea locațiilor de cercetare, informația corespunzătoare cuvintelor este conservată sub forma unor impulsuri, care reprezintă atît rădăcina cuvîntului (de exemplu numărul pe care îl poartă cuvîntul în dicționarul bilingv), cît și date asupra formelor flexionate. Astfel, la verbe se indică diateza, modul, timpul, persoana și numărul; la substantive se indică genul, numărul, cazul etc. Toate acestea sînt reprezentate prin semnale electrice.

Din matricea locațiilor de cercetare cuvintele trec în partea de executare a cuvintelor speciale (do, shall, will), apoi în partea de determinare a omonimelor și a imperfectului, și după aceea la partea de program corespunzătoare cercetării ordinii cuvintelor.

Aici sînt prevăzute patru posibilități. Calea *I* corespunde grupărilor de două cuvinte, care se inversează. Subprogramul *II* corespunde grupărilor de trei cuvinte și subprogramul *III* grupărilor de patru cuvinte, la care se schimbă ordinea. Prin 0 (zero) s-au marcat cuvintele care nu suferă nici o schimbare a ordinii. Urmează apoi partea propriu-zisă de traducere. Conform datelor din dicționar, se trece la stemul corespunzător în limba în care se traduce. După aceea se trece la subprogramul de repartizare, unde se disting mai multe categorii. Cuvintele neflexionate merg la sistemul de perforare dispus la ieșirea mașinii. Substantivele sînt întîi declinate, adjectivele sînt puse în concordanță cu substantivele, iar verbele sînt conjugate. Toate acestea se fac după indicațiile gramaticale care însoțesc cuvintele, în conformitate cu cele stabilite în matricea locațiilor de cercetare.

Scanned with OKEN Scanner

De la perforare, o cale de reacție *A* face ca la terminarea unui cuvînt să se treacă la cuvîntul următor. Calea *B* face ca după un punct să se treacă la propoziția următoare.

Acest program a fost elaborat pentru efectuarea traducerilor din limba engleză în limba romînă și a fost adaptat posibilităților mașinii MECIPT-1. Programul logic are însă posibilități cu mult mai largi. Astfel, pentru a traduce din limba engleză în orice altă limbă se poate utiliza partea de program de la intrare pînă la matricea locațiilor de cercetare, și astfel pentru traducerea în limba romînă din orice altă limbă se utilizează partea de program de la matricea locațiilor de cercetare pînă la ieșire.

14. INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ

Cibernetica a reușit să creeze o serie de aparate care, prin posibilitățile lor, se apropie de intelectul uman. În această categorie intră, de exemplu, dispozitivele de recunoaștere automată a formelor.

Există mașini care au proprietatea de a recunoaște forme scrise — de exemplu litere — sau forme sonore, în particular vorbirea.

Ideea de bază a dispozitivelor care recunosc automat forme constă în punerea în evidență a unor indici caracteristici formelor care trebuie recunoscute.

În cazul recunoașterii literelor există mașini care, pe baza unui anumit program, recunosc literele, indiferent de forma sau dimensiunile lor. Astfel, o aceeași literă poate fi recunoscută chiar dacă grosimea liniilor ei este mai mare sau mai mică, sau chiar dacă raportul dintre înălțimea și lățimea literei variază în anumite limite.

Pentru a fixa ideile ne vom referi, în primul rînd, la recunoașterea automată a literelor. Termenii utilizați sînt precizați în cele ce urmează. O figură este vertical-concavă dacă există puncte care nu sînt ale figurii și ale căror proiecții verticale, atît în sus cît și în jos, ating figura. Astfel de puncte constituie cavități verticale. În mod asemănător se definesc figurile orizontal-concave și figurile concave la $+45°$ și la $-45°$.

O cavitate este deschisă spre dreapta, dacă poate fi găsit un drum drept care să plece dintr-un punct al cavității și să se termine în marginea chenarului de încadrare a literelor (che-

narul aparţine maşinii), drum care să treacă numai prin puncte care nu aparţin figurii şi care, în acelaşi timp, nu are componente spre stînga. În mod asemănător se pot defini cavităţi deschise în orice altă direcţie specificată.

În tabela 4 se dă programul de recunoaştere a caracterelor, mai exact, criteriile utilizate în acest program.

Tabela 4

Criterii utilizate în programul de recunoaştere a caracterelor

1. Cavitatea orizontală deschisă sus.
2. Cavitatea verticală deschisă la dreapta.
3. Cavitatea verticală deschisă la stînga.
4. Cavitatea orizontală deschisă jos.
5. Cavitatea orizontală.
6. Gol.
7. Două cavităţi verticale care se află pe aceeaşi linie comună verticală, avînd între ele puncte care aparţin figurii. Fiecare cavitate, cel puţin în parte, este caracterizată prin faptul eă nu sînt puncte ale figurii în stînga cavităţii. (Această ultimă condiţie este o formulare mai strictă a faptului că avem de-a face cu o „deschidere la dreapta").
8. Figură concavă la +45°.
9. O regiune astfel încît un segment de dreaptă verticală poate fi dus începînd din figură, coborînd printr-o cavitate verticală, trecînd din nou prin puncte ale figurii şi care, coborînd mai departe, intră în altă cavitate verticală, pentru ca în cele din urmă să se termine în figură.
10. Nu se întrebuinţează.
11. Acelaşi criteriu ca şi 9, dar cu orientare orizontală.
12. Cavitate verticală.
13. Cavitate la —45°.
14. Cavitate la —45°, deschisă în direcţia stînga jos.
15. Cavitate orizontală care nu este parte a unui gol.
16. Cavitate la +45°, care nu este parte a unui gol.
17. Goluri al căror invers (complement) este orizontal concav.
18. Cavitate la —45° care nu este parte a unui gol.
19. Muchie verticală la stînga, cu unghiuri drepte în colţurile de sus şi de jos.
20. Două goluri.
21. Muchie orizontală superioară cu colţuri la ambele capete.
22. La fel ca 7, însă cu cavităţile orizontale şi orientate în sus.
23. La fel ca 7, însă cu cavităţile orizontale şi orientate în jos.
24. Cavitate verticală, a cărei extremitate de jos este deasupra unei muchii inferioare conectată la un colţ interior situat la stînga sus (intersecţiile unei muchii superioare şi ale unei muchii la dreapta).
25. Cavitate care este în acelaşi timp verticală şi orizontală.
26. Gol al cărui complement este vertical concav.
27. La fel ca 9, însă cu cavitatea verticală inferioară înăuntrul unui gol.
28. Punctele din stînga ale unei cavităţi verticale deschise la dreapta sînt mai sus decît punctele din dreapta ale unei cavităţi verticale deschise la stînga.
29. Muchie verticală dreaptă.
30. Nu se utilizează.
31. Înălţimea părţii din stînga a unei figuri în formă de U este mai mică decît jumătate din înălţimea laturii sale din dreapta.
32. Cavitate verticală deschisă la stînga, cu muchii aproape verticale.

33. Muchie verticală dreaptă, fără cavităţi orizontale la acelaşi nivel cu ea.
34. Punctele din stînga ale unei cavităţi verticale se află în cele două treimi superioare ale figurii.
35. Cavitate verticală deschisă la dreapta.
36. Cavitate orizontală deasupra unei cavităţi verticale de care este separată printr-o parte a figurii.
37. Sus parte izolată.
38. Sus parte izolată cu concavitate deschisă în sus.
39. Jos parte izolată.

Algoritmul propriu-zis este constituit dintr-o serie de probe, la care este supus caracterul. La fiecare probă se verifică dacă litera analizată prezintă sau nu caracterul respectiv. Dacă răspunsul este afirmativ, atunci se trece la nodul următor, prin ramificaţia din dreapta (fig. 14.1); în caz contrar, se urmează ramificaţia din stînga.

Astfel, dacă la prima întrebare (nodul *2*) se constată că litera prezintă o concavitate deschisă spre stînga, atunci se trece la nodul *1* ş.a.m.d.

În cazul în care sîntem în prezenţa unor mărimi care au note a căror măsură variază în mod statistic se poate introduce tot un criteriu statistic pentru recunoaşterea formelor. Astfel, în mod statistic, la scrisul de mînă se poate deosebi *a* de *o*.

Este uzual ca fiecare mărime caracteristică — care constituie un aşa-numit indice de recunoaştere — să fie pus în legătură cu punctele unei axe de coordonate. În modul acesta se trece la un spaţiu abstract cu mai multe dimensiuni.

De exemplu, se ştie că orice culoare poate fi obţinută din combinarea, în proporţii convenabile, a trei culori fundamentale. Aceasta înseamnă că este posibil a se reprezenta orice culoare printr-un punct într-un spaţiu tridimensional ale cărui axe sînt chiar culorile respective, şi coordonatele unui punct rezultă din proporţia în care se amestecă cele trei culori.

În modul acesta, întregul spaţiu al indicilor de recunoaştere poate fi împărţit într-o serie de subspaţii, fie ele I_i.

Pentru a putea identifica, fără echivoc, un obiect analizat, în raport cu indicii respectivi, este necesar ca mulţimile I_i să fie disjuncte.

În ceea ce priveşte recunoaşterea formelor sonore, problema se pune în mod asemănător. În fig. 14.2 se reprezintă, de exemplu, spectrul dinamic al vocalei *u*, aşa cum a fost el obţinut prin analiza efectuată la Centrul de Fonetică şi Dialectologie al Academiei R.P.R. Se constată că acest spectru se caracterizează prin concentrarea energiei sonore în anumite domenii de frecvenţă: este vorba despre aşa-numiţii *formanţi*.

Analizîndu-se spectrele vocalelor romînești, se ajunge la concluzia că se poate considera că energia sonoră corespunzătoare

Scanned with OKEN Scanner

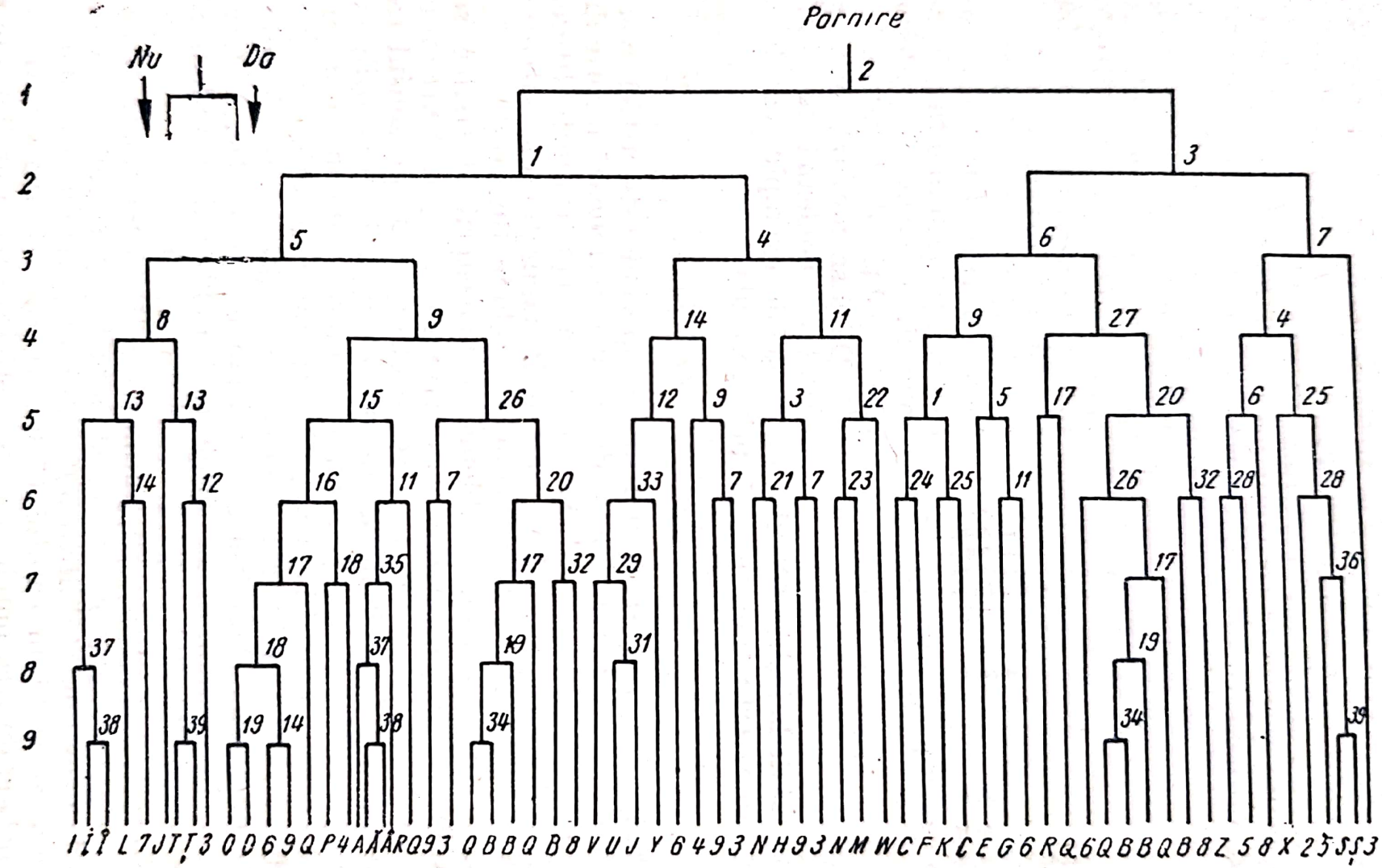


Fig. 14.1

Scanned with OKEN Scanner

lor este concentrată în anumite porțiuni ale spectrului așa cum se arată în fig. 14.3. Aici banda de frecvențe dintre 0 și 4 500 Hz a fost împărțită în nouă părți. Fiecare vocală se caracterizează printr-o altă distribuție a energiei în spectru.

Rezultă posibilitatea construirii unui aparat care să recunoască automat vocalele limbii romîne. Schema acestui aparat este redată în fig. 14.4. S-a notat prin M microfonul, prin A amplificatorul, iar prin F_j $(1 \leqslant j \leqslant N)$ filtrele care analizează semnalul. La ieșirea din filtre sînt conectate intrările unui dispozitiv logic DL care determină vocala pronunțată în fața microfonului, pe baza semnalelor care se obțin de la filtre.

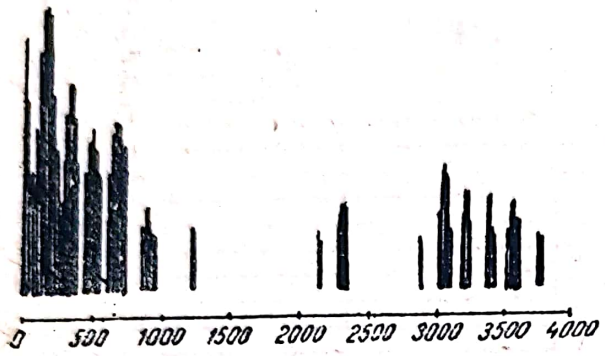


Fig. 14.2

Dacă se notează prin x_i variabila booleană asociată semnalului de la ieșirea filtrului F_i, atunci de exemplu vocala a (v. fig. 14.3) este reprezentată prin formula

$$a = x_1' x_2 x_3 x_4' x_5' x_6 x_7' x_8 x_9'.$$

Partea logică a aparatului de recunoscut este astfel construită încît pe baza semnalelor de la filtre acționează o serie de relee, fiecare releu semnalizînd prezența unei anumite litere.

Un astfel de aparat a fost realizat în laboratoarele catedrei de radiocomunicații a Institutului Politehnic București.

Se menționează că problema recunoașterii statistice se pune și în legătură cu clasificarea microorganismelor. Pentru microbi, problema clasificării se poate automatiza, în sensul că se introduc o serie de indici de recunoaștere și, după valorile pe care acești indici le au la un anumit microorganism, se determină domeniul I_i căruia îi aparține forma analizată.

Metoda a fost aplicată de o serie de cercetători ai Institutului de Microbiologie, Parazitologie și Epidemiologie, Dr. I. Cantacuzino, în colaborare cu specialiștii Centrului de Calcul al Universității din București.

Problema recunoașterii automate a formelor poate fi extinsă și la recunoașterea unor structuri mai complicate cum ar fi, de exemplu, stabilirea autorului unui text literar dat — așa cum se arată în capitolul „Cibernetica și lingvistica" — și chiar la stabilirea notelor ce caracterizează stilul unui anumit compozitor.

Scanned with OKEN Scanner

Punînd invers problema, se ajunge la automatizarea muncii în domeniul compunerii muzicale. Şi în ţara noastră există studii în această privinţă, reuşindu-se elaborarea unui algoritm, pe baza căruia se pot armoniza anumite melodii.

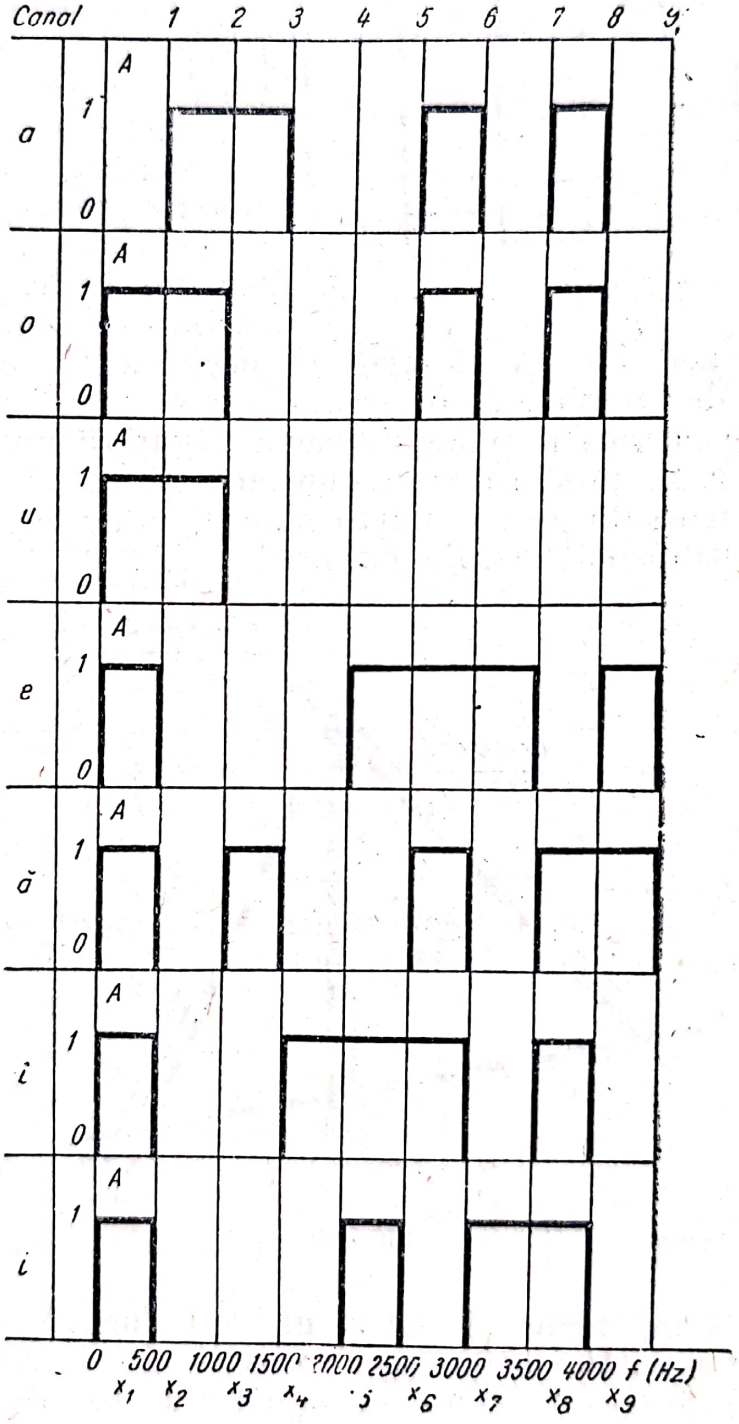


Fig. 14.3

Scanned with OKEN Scanner

Literatura de specialitate citează cazul unor suite de coarde compuse în contrapunct, cu ajutorul calculatorului Illiac.

Mașinile cibernetice intervin astăzi cu succes în abordarea unor probleme privind conducerea optimă. În primul rînd este cazul conducerii optimă a proceselor industriale, precum și planificarea optimă a transporturilor.

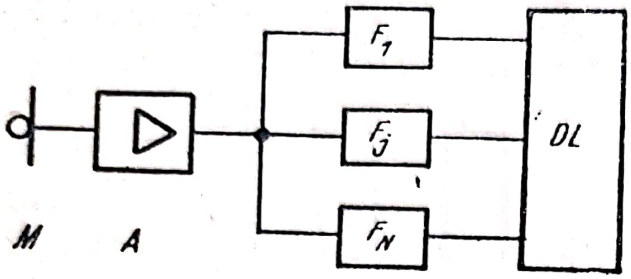


Fig. 14.4

Sistemele optimale din automatică sînt sisteme care au proprietatea ca, indiferent de variațiile unor mărimi caracteristice sistemului automatizat, performanțele acestuia să rămînă în permanență în apropierea unui punct de funcționare optimă.

În transporturi se pune problema asigurării unei circulații de bunuri între producător și consumator, astfel încît să fie satisfăcute necesitățile consumatorilor și în același timp, cheltuielile de transport să fie minime.

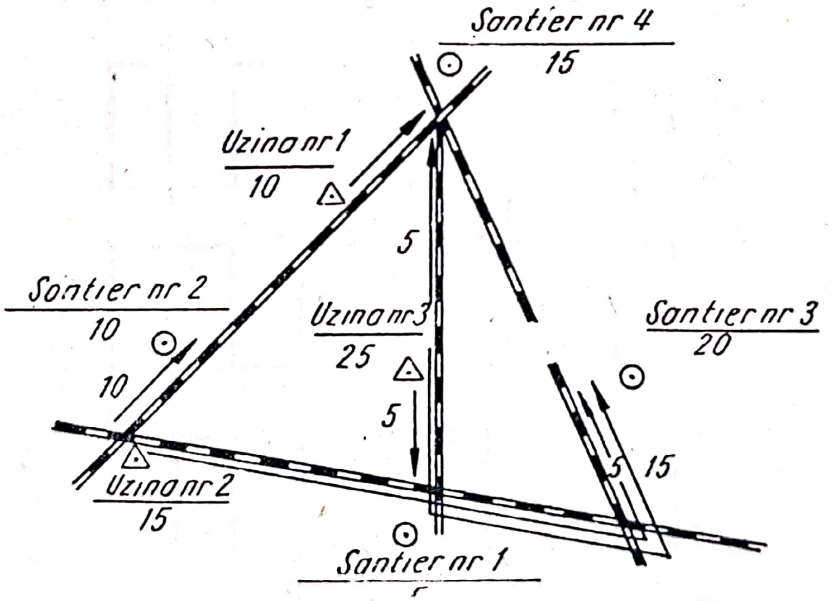


Fig. 14.5

O problemă tipică de acest gen este următoarea. Există patru șantiere și trei uzine care aprovizionează aceste șantiere. Se știe că cele trei uzine au o producție de 10, respectiv 15 și 25 unități convenționale. Necesitățile celor patru șantiere sînt: 5, 10, 20, 15 unități convenționale. Știind că distanțele de la șantiere pînă la uzine sînt cele reprezentate în tabela următoare,

se cere să se stabilească acea circulație de la uzine pînă la șantiere, care asigură necesitățile șantierelor și, în același timp, duc la cheltuieli de transport minime.

Dacă se notează cu a_i producția uzinelor, cu b_j consumul șantierelor și cu c_{ij} distanța de la uzina i pînă la șantierul j, atunci notînd cu x_{ij} cantitatea de produse care trebuie transportate de la uzina i la șantierul j, se cere să se determine mărimile x_{ij}, astfel încît expresia

$$C = \sum_i \sum_j c_{ij}\, x_{ij}$$

să aibă cea mai mică valoare posibilă. Evident, necunoscutele x_{ij} nu pot avea decît valori pozitive.

În această problemă a transporturilor, cercetătorii de la noi din țară au obținut rezultate importante.

În general, se dau mărimile a_i, b_j, c_{ij} și se cere să se determine x_{ij}

$$x_{ij} \geqslant 0.$$

De exemplu, în cazul problemei enunțate anterior, situația se poate prezenta sub forma tabelei următoare.

a_i \ b_j	5	10	20	15
10	8	3	5	2
15	4	1	6	7
25	1	9	4	3

Această matrice dă valorile coeficienților c_{ij}.

Soluția optimă este dată de următoarea matrice a necunoscutelor x_{ij} :

0	0	0	10
0	10	5	0
5	0	15	5

Valoarea costului este reprezentată atunci prin

$$C = 2 \cdot 10 + 5 \cdot 6 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 3 + 4 \cdot 15 + 1 \cdot 5 = 140.$$

Acest gen de probleme face parte din categoria problemelor cunoscute sub numele de *probleme de programare liniară*.

În programarea liniară se cere determinarea valorilor necunoscutelor pentru care o anumită expresie liniară are o va-

Scanned with OKEN Scanner

loare maximă sau minimă atunci cînd necunoscutele sînt legate între ele printr-o serie de relaţii liniare. În cazul transporturilor, de exemplu, variabilele sînt totdeauna pozitive şi, în acelaşi timp, sînt satisfăcute relaţiile

$$\sum_i x_{ij} = a_i, \quad \sum_i a_{ij} = b_j.$$

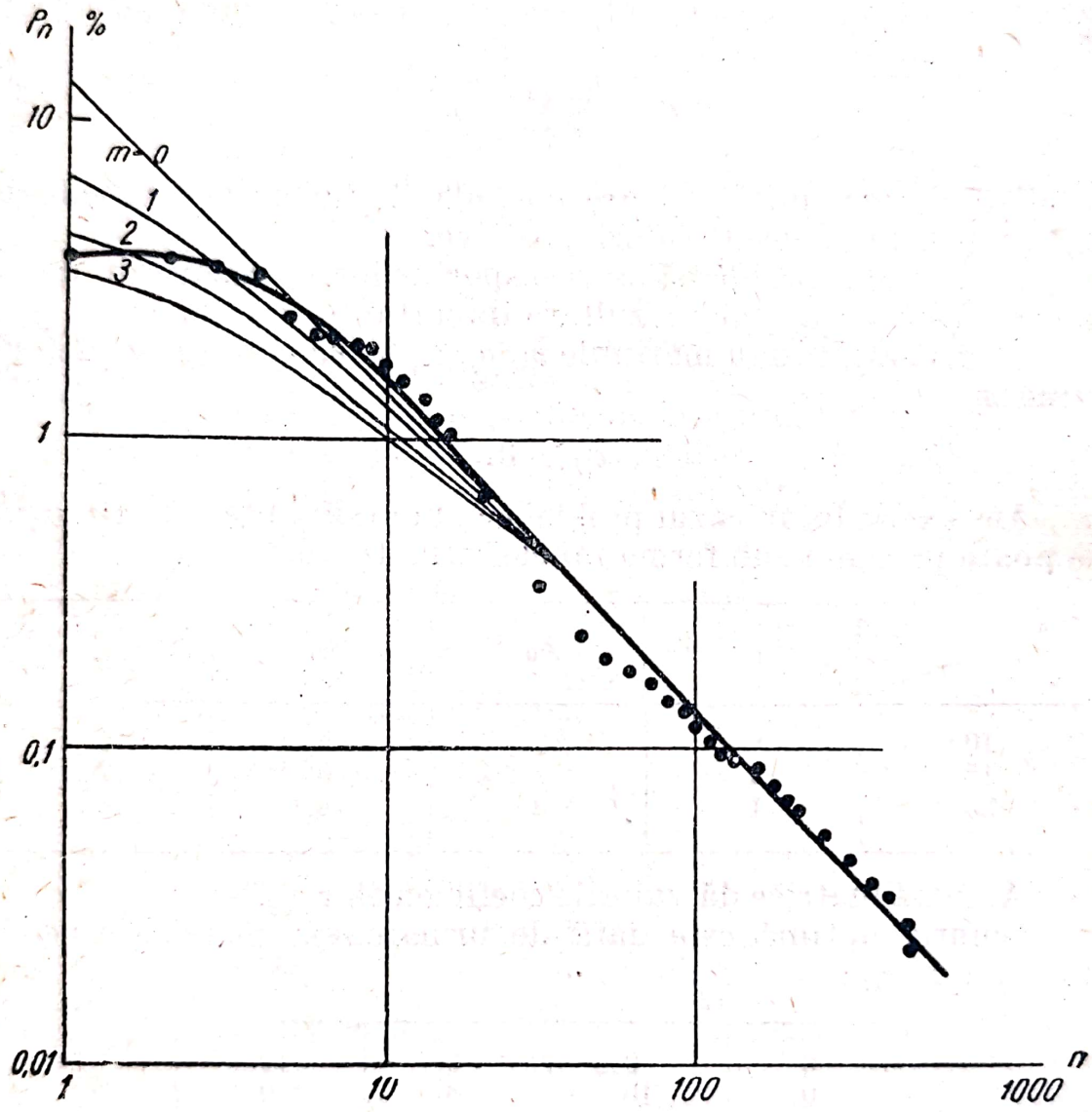


Fig. 14.6

Se menţionează faptul că în natură, în numeroase cazuri, există sisteme care funcţionează pe un principiu de extremum, adică pe principiul de realizare a unei valori maxime sau minime pentru o anumită funcţie. Astfel, un sistem de puncte materiale tinde totdeauna spre poziţia care face ca energia sa potenţială să fie minimă.

Situaţii asemănătoare se întîlnesc şi în electricitate, şi în lingvistică.

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, de exemplu, în lingvistică se demonstrează că dacă se notează cu f_n frecvența unui anumit cuvînt, care ocupă rangul n în mulțimea ordonată (descrescător) a cuvintelor aranjate după frecvențe, atunci subzistă următoarea lege descoperită mai întîi experimental

$$f_n = kn^{-1}.$$

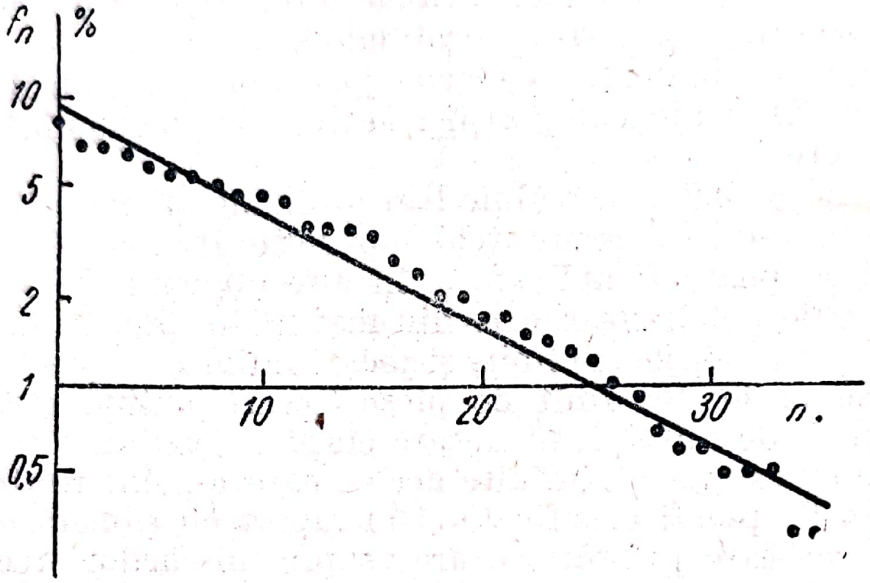


Fig. 14.7

Se demonstrează că această lege experimentală corespunde faptului teoretic că, atunci cînd se urmărește transmiterea unei anumite informații, prin intermediul cuvintelor şi fiecărui cuvînt i se atribuie un anumit „cost", distribuția statistică pentru care costul total este minim corespunde legii experimentale enunțată anterior (legea Zipf-Mandelbrot).

În fig. 14.6 se vede curba de distribuție a frecvenței cuvintelor în limba romînă.

Legi asemănătoare pot fi puse în evidență pentru frecvența de variație a literelor, respectiv a fonemelor, în diferite limbi. De exemplu, în fig. 14.7, se reprezintă legea de variație corespunzătoare limbii franceze scrise (frecvența fonemelor).

15. TEORIA JOCURILOR

Sub acest nume se înțelege o ramură a matematicii, care se ocupă de studiul modelelor de jocuri.

Preocupările în această direcție sînt destul de vechi şi în strînsă legătură cu crearea calculului probabilităților care s-a

născut din studiile pe care o serie de matematicieni de seamă, ca Pascal, Fermat şi Bernoulli, le-au consacrat jocurilor de noroc.

Deşi, în mod aparent jocurile par ceva superficial, în realitate ele prezintă implicaţii profunde. Tocmai de aceasta, *Christian Huygens*, în primul tratat de calculul probabilităţilor scria, în anul 1657 : „Dar dacă se vor examina mai atent lecţiile noastre, se va descoperi, sînt sigur, că ele nu tratează, aşa cum s-ar putea crede, despre joc, ci că ele stabilesc bazele unei reflectări interesante şi foarte profunde".

Cîmpul de aplicaţie a teoriei jocurilor este cadrul deciziei şi acţiunii umane în competiţie : activitatea economică, ştiinţa militară etc.

Teoria jocurilor dezvăluie legi profunde ale naturii, a căror cunoaştere face ca rezultatele obţinute în modelele numite „jocuri" să poată fi aplicate şi în alte domenii de activitate.

Jocurile pot fi clasificate din mai multe puncte de vedere. Se disting, astfel, jocuri finite şi jocuri infinite. Un joc este finit dacă are un număr finit de piese fiecare putînd efectua un număr finit de mişcări, în fiecare etapă a jocului.

Se numesc jocuri infinite acelea care nu sînt finite.

Jocurile pot fi clasificate şi în raport cu cantitatea de informaţie pe care jucătorul o are asupra mişcărilor trecute. De exemplu, la şah, jucătorii sînt informaţi în permanenţă, în mod complet, asupra tuturor situaţiilor trecute. Dimpotrivă, la bridge, un jucător nu ştie exact ce cărţi are adversarul său.

În sfîrşit, jocurile pot fi clasificate şi după numărul de persoane care participă. Există unele jocuri de răbdare la care participă o singură persoană. Acesta este cazul pasienţelor. Şahul este un joc de două persoane, iar pocherul — de patru persoane. Se deosebesc, de asemenea, jocuri de coaliţie, în care jucătorii sînt grupaţi în echipe (ca la bridge, unde cei patru jucători sînt grupaţi în două echipe).

Din alt punct de vedere, se disting jocuri probabilistice şi jocuri deterministe.

La jocul de table, de exemplu, fiecare mutare a unui partener se face în conformitate cu cele două numere indicate de zaruri : este vorba de un joc la care întîmplarea are un rol de seamă. Dimpotrivă, la jocul de şah, întîmplarea este eliminată, în sensul că fiecare din parteneri are voie să aleagă orice mutare doreşte, cu singura condiţie ca aceste mutări să fie compatibile cu regulile jocului.

Pentru a fixa ideile, să considerăm la început un exemplu simplu.

Fie astfel un joc în care se pleacă de la 6 beţe de chibrituri şi la care participă doi jucători, ce iau pe rînd cîte un număr de

Scanned with OKEN Scanner

bețe. La o anumită mutare, fiecare jucător poate lua unul sau două bețe — la libera sa alegere. Pierde acel jucător care ia ultimul băț de chibrit.

Deoarece la fiecare mutare, fiecare din jucători are la dispoziție doar două variante posibile, se poate construi ușor un grafic cu noduri, din fiecare nod plecînd două ramuri. În modul

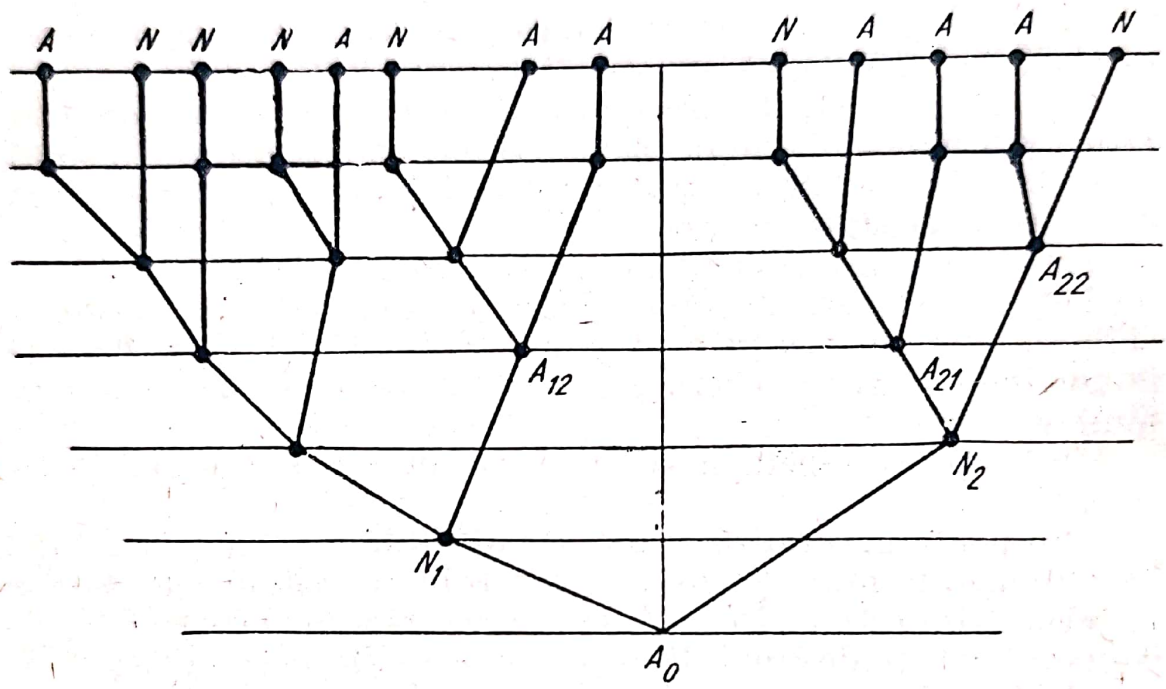


Fig. 15.1

acesta se analizează în mod complet toate posibilitățile jocului, situația prezentîndu-se ca în fig. 15.1.

Se observă că, după cum jocul se desfășoară pe o linie sau pe alta, albul cîștigă sau pierde.

În schema din fig. 15.1 s-a notat cu A albul (mutarea efectuată de A) și cu N negrul (mutarea efectuată de N). Pe linia din partea de sus a figurii s-a marcat cîștigătorul.

Se constată că există posibilitatea ca A să cîștige partida, indiferent de strategia lui N. Pentru aceasta, A trebuie să ia la început 2 bețe. În graficul jocului aceasta corespunde trecerii de la A_0 la N_2. În joc au rămas doar 4 bețe. Dacă N ia un singur băț (se trece la A_{21}), atunci A ia 2 bețe și N pierde fiind obligat să ia ultimul băț. Dacă N ia 2 bețe (se trece la A_{22}), atunci A ia un singur băț și N de asemenea pierde.

Sîntem în prezența unui joc finit la care este posibilă o analiză completă; la astfel de jocuri jucătorul care efectuează prima mutare poate alege o strategie care duce sigur la cîștig.

Scanned with OKEN Scanner

Se observă, de asemenea, că există anumite strategii pe care, dacă le urmează, jucătorul care începe jocul are posibilitatea de a cîştiga, indiferent de tactica adoptată de partenerul său.

În acest caz, avem un exemplu de joc finit, la care elementul probabilistic dispare, şi la care există o analiză completă a tuturor posibilităţilor.

În exemplul simplu dat anterior, se poate efectua şi o analiză matematică logică, care să indice rezultatul optim.

Se observă că, deoarece la o mutare dată, un partener nu poate lua mai mult de două bețe şi mai puţin de un băţ, dacă jucătorul A este la mutare şi în faţa lui se găseşte un singur băţ de chibrit, el sigur pierde.

Dar, deoarece el poate lua maximum două bețe şi minimum un băţ, dacă la mutarea precedentă avea în faţă patru bețe de chibrit, de asemenea în mod sigur pierde. Astfel, chiar dacă el ia un singur băţ, partenerul său ia două bețe şi-l lasă în faţa unui singur băţ.

Situaţia se repetă şi pentru cazul în care el are în faţa sa şapte bețe.

Se poate generaliza atunci cu uşurinţă acest joc, stabilind că numărul minim de bețe care pot fi luate la o mutare este m, şi cel maxim este n. În acest caz se observă că există o serie de numere de bețe de tipul $M = p + k(m + n)$, unde p este numărul de bețe la care se pierde (în exemplul precedent, $p = 1$), iar k este un număr întreg. Dacă A face astfel încît după o mutare numărul de bețe din joc să fie M, atunci el cîştigă sigur, deoarece atunci cînd N ia q bețe, A va lua r bețe, cu condiţia

$$q + r = m + n$$

În modul acesta, inevitabil N ajunge la p bețe—deci pierde.

Se poate face un studiu pentru un joc mai general decît acesta, în care există un număr oarecare de grămezi, regulile permiţînd ca numerele m şi n să fie chiar şi variabile.

Pentru cazul a trei grămezi, la care fiecare din parteneri are voie ca la o mutare să ia numai dintr-o singură grămadă—dar cîte bețe vrea — a fost rezolvat de specialiştii de la Centrul de Calcul al Universităţii din Bucureşti. Soluţia la care au ajuns aceştia poate fi automatizată, astfel încît un calculator electronic digital poate juca cu un partener uman. Avînd grijă ca jocul să se înceapă de la o poziţie favorabilă maşinii, aceasta va cîştiga în mod cert, totdeauna.

Spre deosebire de astfel de jocuri strict deterministe, există alte situaţii în care intervin factori probabilistici. De exemplu,

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

jocul cu chibriturile examinat anterior poate fi modificat în sensul că, la fiecare mutare, fiecare partener ia un număr de bețe cuprins între 1 și 6, în funcție de cifra care se obține după aruncarea unui zar. În acest caz sîntem în prezența unui joc strict de noroc, nefiind posibilă intervenția noastră într-un mod oarecare în desfășurarea jocului.

Elementul probabilistic este predominant la jocurile de zaruri, la table etc. Se pune întrebarea dacă pentru aceste jocuri se pot determina anumite strategii care să ducă la cîștig. Răspunsul este afirmativ.

Fie, de exemplu, jocul cu banul. Acest joc comportă doi parteneri dintre care unul este jucătorul activ, și celălalt este „banca". Partenerul activ mizează o anumită sumă pe unul din simbolurile corespunzînd celor două fețe ale banului (stema și valoarea). După aceasta se aruncă moneda în sus și se observă care este fața pe care o prezintă moneda după cădere. În cazul în care în sus este fața pe al cărui simbol a mizat partenerul activ, atunci „banca" îi dă acestuia o sumă egală cu miza jucată. În caz contrar banca ia miza.

Jocul pare echilibrat și situația se poate prezenta sub forma unei tabele ca cea alăturată.

	a	b
a	m	$-m$
b	$-m$	m

Pe linia superioară au fost marcate cu a și b simbolurile feței pe care a mizat jucătorul activ, și pe coloana din stînga — simbolurile feței care a ieșit prin aruncarea banului. Prin m s-a notat miza jucată. Dacă partenerul activ a mizat pe fața a și aceasta a ieșit, atunci el încasează prima m; dacă a mizat pe fața a și a ieșit fața b, atunci el plătește pedeapsa m, adică încasează prima $-m$. Tabela dată este deci o caracterizare a regulilor jocului. Se observă că suma tuturor valorilor înscrise în tabelă este nulă, fapt pentru care acest joc intră în categoria „jocuri de sumă nulă".

Să arătăm că și pentru un astfel de joc se poate imagina o strategie care duce sigur la cîștig.

Pentru aceasta să considerăm că în prima etapă a jocului partenerul activ cîștigă. În această situație el își dublează suma depusă inițial. Față de primul moment, el dispune de un cîștig egal cu m.

În caz că pierde, el dublează miza, adică pune în joc miza $2m$. În caz de cîștig, el încasează $2m$, deci scăzîndu-se miza pierdută, realizează încă un cîștig egal cu m.

Scanned with OKEN Scanner

În caz că pierde de n ori consecutiv, atunci, dacă de fiecare dată a dublat miza pusă în joc, el pierde în total:

$$m + 2m + 4m + 8m + \ldots + 2^n m = (2^{n+1} m - 1) m.$$

Atunci cînd a $n + 1$ oară cîştigă, va încasa o primă egală cu ultima miza pusă în joc, adică cu $2^{n+1} m$, deci scăzînd cît a pierdut $(2^{n+1} - 1)m$, realizează un cîştig egal cu m.

În această analiză s-a admis că jucătorul activ are o rezervă de bani oricît de mare o cer necesităţile jocului — şi, de asemenea, că „banca" nu se schimbă şi acceptă orice miză.

Uneori, pentru a se evita astfel de situaţii, cei doi parteneri devin în mod alternativ „bancă".

	a	b	c
a	1	—1	—1
b	—1	3	—1
c	—1	—1	1

Nu însă toate jocurile de doi parteneri se caracterizează printr-o matrice de sumă nulă. Astfel jocul caracterizat prin matricea alăturată nu este un joc de sumă nulă. La un astfel de joc unul din parteneri este favorizat.

O problemă importantă care se pune în legătură cu jocurile este aceea a stabilirii strategiei pe care trebuie să o adopte jucătorii pentru a-şi asigura o situaţie optimă. Este problema deciziei optime.

Fie un joc caracterizat prin matricea

A \ N	1	2	3	4	5	
1	1	2	5	8	—1	—1
2	—2	3	4	6	—2	—2
3	3	—4	1	1	1	—4
	3	3	5	8	1	

Pe linia N s-a indicat prin numere strategia adoptată de „negru" şi pe coloana A din extremitatea stîngă, tot prin numere, s-a notat strategia adoptată de „alb".

Jucătorul A trebuie să adopte o strategie care să îi provoace cea mai mică pierdere. În extremitatea dreaptă a tabelei s-a notat pierderea maximă posibilă la fiecare strategie. Astfel la strategia 1 a albului, pierderea maximă este —1, la strategia 2 ea este —2 etc. Desigur că jucătorul trebuie să adopte acea strategie care corespunde celei mai mici pierderi maxime posi-

Scanned with OKEN Scanner

bile. Este vorba deci de un principiu de maximalizare a unui minim sau, mai scurt, de un principiu de *maximin*.

Jucătorul N trebuie să adopte o strategie asemănătoare. Deoarece în tabelă se indică de fapt cîştigul lui A, înseamnă că valorile pozitive pentru A sînt negative pentru N. Pe fiecare coloană el reţine valoarea maximă, şi din toate coloanele alege acea valoare care duce la un minim al acestui maxim ; se urmăreşte un *minimax*.

În cazul jocurilor la care minimaxul şi maximinul coincid, se spune că jocul are un punct *şa*, deoarece se obţine o situaţie asemănătoare cu aceea de la şa. Şi aici, dacă se merge pe linia imaginară care uneşte capul calului cu coada, se trece printr-un minim, în timp ce dacă se merge pe linia care uneşte pe şa o scară cu cealaltă, se trece printr-un maxim — astfel că maximul şi minimul coincid.

În teoria jocurilor este necesar să se ţină seamă şi de probabilităţile cu care se ivesc diferitele situaţii.

Teoria jocurilor, în accepţia modernă a cuvîntului, îşi are originea în lucrările matematicienilor *John von Neumann* şi *Morgenstern*. Contribuţii importante au fost aduse de *Cl. Berge* şi la noi în ţară de prof. emerit *O. Onicescu* laureat al premiului de stat.

Trebuie remarcat faptul că nu totdeauna un joc finit poate fi analizat complet. Teoretic, în categoria jocurilor finite intră orice joc la care există un număr finit de elemente ce se manevrează în conformitate cu un număr finit de reguli. Deci şi jocul se şah intră în categoria jocurilor finite. Este suficient să ne gîndim că prima mutare — deschiderea — se poate efectua în 20 de moduri diferite, şi că negrul poate răspunde cu alte 20 de mutări independente ; rezultă că numai la prima mutare sînt posibile 400 de variante diferite. Dacă şi la a doua mutare admitem că sînt posibile alte 400 de variante, rezultă că primele două mutări se pot efectua în 160 000 moduri diferite. Numărul tuturor variantelor posibile este foarte mare, fiind evaluat la 10^{140} — astfel încît nu este cu putinţă catalogarea lor într-un interval de timp convenabil.

Totuşi şi pentru astfel de jocuri se pot obţine unele rezultate. Fie un joc finit, la care participă doi jucători care sînt complet informaţi asupra situaţiei şi cunosc, de asemenea, toate regulile jocului. Partida este la ultima mutare, decisivă, care duce la victoria unuia dintre jucători, de exemplu, A. Spunem că partida este „tare" pentru A, dacă ea este cîştigată virtual de A.

Mergînd în sens invers pe firul jocului, constatăm că la mutarea precedentă, sau partida era tot tare pentru A, sau adversarul său N a comis o greşeală. Dacă admitem că în nici un moment jucătorii nu comit greşeli, rezultă că ultima alternativă

Scanned with OKEN Scanner

este exclusă. Dacă la un moment dat partida este „tare" pentru *A*, aceasta înseamnă că de la început ea a fost „tare" pentru el.

La jocurile în care nu intervine hazardul şi la care cei doi parteneri nu comit greşeli, soarta jocului este decisă de la început.

Astfel de jocuri par a fi total lipsite de interes. Într-adevăr unele jocuri de reflecţie pură, jucate pentru prima dată, uimesc sau amuză, pînă cînd jucătorii constată existenţa unor reguli infailibile care, aplicate de la început, duc sigur la cîştig. Prin aceasta, jocurile încetează de a mai fi jocuri.

La jocurile la care numărul variantelor este atît de mare încît nu poate fi vorba de analizarea lor completă într-un interval de timp util, se recurge la un procedeu diferit. În cazul jocului de şah procedeul adoptat este analog — dintr-un punct de vedere — cu cel din cazul traducerii mecanizate. Anume, fiecărei piese i se acordă un anumit simbol cxprimat printr-un cod digital. În memorie se introduc regulile de joc, algoritmul propriu-zis al strategiei, o informaţie cu privire la poziţiile pieselor. În cazul problemelor de mat în cîteva mutări, calculatorul analizează metodic *toate mişcările posibile ale tuturor pieselor* — mişcări compatibile, desigur, cu regulile de joc — şi reţine combinaţia care duce la mat.

Aplicarea în practică a acestei metode se loveşte însă de unele dificultăţi. După cum remarca fostul campion mondial *Botvinik*, chiar într-un final simplu de rege şi tură, contra rege şi tură, pentru a analiza *toate* variantele, un calculator rapid ar avea nevoie de cîteva trilioane de ani. Pentru a se evita această criză de timp, s-au stabilit diferite strategii aproximative. De exemplu, se acordă fiecărei piese o anumită valoare : pionul = 1, calul = 3, nebunul = 3,5, turnul = 5, dama = 10, regele 1 000. Pentru fiecare situaţie, calculatorul determină valoarea *A* a pieselor albului şi valoarea *N* a pieselor negrului. Dacă albul este calculatorul, atunci dintre toate variantele posibile, calculatorul alege acea variantă care peste două sau trei mutări duce la un raport A/N cît mai mare.

Pentru deschideri, calculatorul poate fi prevăzut cu o colecţie de programe conţinînd cît mai multe variante : gambitul damei, indiana veche, apărarea siciliană etc.

Problema automatelor capabile să joace şah a fost mult discutată. Fostul campion mondial, *V. Smîslov*, compara şahul cu muzica : „Şahul nu constă în mutarea mecanică a figurilor, în conformitate cu anumite reguli date, ci este un joc profund uman. Şahul este mai aproape de arte decît de problemele ştiinţifice, şi niciodată conţinutul său nu va putea fi schema-

tizat". În continuare, Smîslov spunea că pentru el un automat de şah care depăşeşte gîndirea umană ar fi echivalent cu un automat de muzică care ar depăşi creaţiile nemuritoare ale lui Beethoven, Ceaikovski, Verdi.

16. GÎNDIREA ŞI MAŞINILE CIBERNETICE

1. Datorită succeselor obţinute de cibernetică, în faţa cercetătorilor din cele mai diferite domenii — filozofi, psihologi, logicieni — se deschid perspective deosebit de promiţătoare pentru înţelegerea modului în care funcţionează creierul — materia în forma sa cea mai înaltă de organizare.

Desigur că în momentul de faţă nici electronica, nici logica matematică, nici cibernetica nu au pretenţia de a da o explicaţie completă procesului atît de complex al gîndirii. Dar nu este mai puţin adevărat faptul că, prin realizările obţinute în aceste domenii, precum şi în altele, cum ar fi neurologia, astăzi omenirea are o înţelegere mai justă a modului de funcţionare a creierului.

Ceea ce aduce nou cibernetica în interpretarea modului de funcţionare a creierului şi, în general, în neurofiziologie, este tocmai aspectul informaţional.

Noţiunea de informaţie a devenit una dintre noţiunile fundamentale ale ştiinţelor naturii. Legată de informaţie este noţiunea de *entropie*, prin care în accepţia cea mai generală, se înţelege o măsură a neuniformităţii modului în care se află distribuite materia şi energia în spaţiu şi în timp, entropia putînd fi considerată deci drept o măsură a nedeterminării, a dezorganizării. Bineînţeles că abordarea informaţională a fenomenelor implică un grad înalt de abstractizare. Astfel, în momentul în care neuronul este abordat din punct de vedere informaţional, se neglijează fenomenele chimice reale care au loc în corpul neuronal, în axon şi sinapsă, urmărindu-se numai mesajul purtat de fenomenele chimice şi electrice care au loc la nivelul neuronului.

2. După cum s-a arătat în capitolele precedente, calculatoarele digitale sînt capabile să trateze după reguli variate, cantităţi mari de informaţie, astfel încît pot prelua o bună parte din muncile intelectuale rezervate înainte numai oamenilor cum ar fi anumite sarcini de planificare, traduceri dintr-o limbă în alta, jocul de şah. Tocmai de accea se pune problema stabilirii raporturilor dintre intelectul uman şi maşinile cibernetice şi în

această ordine de idei este indicat a ne referi la faptul că gîndirea e strîns legată de limbaj. Deoarece, în momentul actual se dezvoltă lingvistica matematică şi studiul limbilor abstracte, în mod firesc se pune problema de a stabili în ce măsură pot fi formalizate limbile umane reale. Plecînd de aici, se ridică a doua problemă — mai importantă — şi anume de a determina ce parte din gîndirea omului poate fi modelată cu ajutorul unor astfel de limbaje formale, abstracte.

Problema limbajelor abstracte a fost abordată într-unul din capitolele anterioare şi s-a văzut de aici imensa dificultate practică care se ridică în calea formalizării efective a oricăreia dintre limbile umane. Un studiu mai atent arată că, în realitate, orice formalizare a unei limbi umane vii nu este decît un mulaj instantaneu, mai mult sau mai puţin apropiat de realitate, dar care-şi pierde asemănarea cu originalul pe măsura dezvoltării acestuia.

Situaţia nu este cu nimic diferită în cazul limbii latine, de exemplu. Gramatica acestei limbi — aşa cum se învaţă în şcoli — se referă de fapt la o anumită epocă de dezvoltare a limbii latine. Inscripţiile şi în general textele anterioare sau posterioare vor prezenta diferenţe faţă de această gramatică.

După cum este firesc, încercările de formalizare a limbilor reale sînt departe de a prinde bogăţia de expresie inerentă şi caracteristică a limbajului uman.

3. În decursul istoriei s-au întreprins nenumărate încercări de a se cuprinde într-un sistem algebric limbajul uman. Însă, atît încercările mai vechi ale lui Leibniz, cît şi încercările moderne, legate de logica matematică, sînt departe de a satisface pe specialişti.

În sistemul logic, cunoscut sub numele de „calculul predicatelor", se construiesc notaţii universale, care au echivalenţi în limba de toate zilele. Într-un astfel de sistem se poate înregistra orice obiect, proprietăţi sau relaţii individuale şi se formează propoziţii cu sens. Mai mult chiar, un astfel de limbaj poate fi folosit la construirea unor teorii formale şi a unor demonstraţii formale. După ce se stabileşte un anumit număr de fapte determinate, se încearcă ca prin construcţii formale simple, utilizînd limbajul adoptat, să se stabilească principalele consecinţe care rezultă din aceste propoziţii nedemonstrate. Apare astfel ideea ca, pe baza unui limbaj logic formal, să se formalizeze complet procesul de gîndire, cel puţin în limitele unui domeniu ştiinţific construit deductiv, cum ar fi de exemplu matematica.

Aici însă intervine un fapt surprinzător la prima vedere. Aşa cum a demonstrat mai de mult *K. Gödel*, nici măcar un sistem

Scanned with OKEN Scanner

logic atît de simplu cum este aritmetica nu poate fi formalizat. Mai exact, este vorba de faptul că aritmetica numerelor naturale nu poate fi formalizată complet în nici un sistem lingvistic formal, oricare ar fi numărul finit de axiome de la care se pleacă. Aceasta deoarece, în orice sistem de acest gen, în afară de relații care se obțin pe cale formală, pornind de la axiome, intervin și propoziții care sînt consecințe ale sistemului de axiome ales, dar numai în sensul obișnuit al cuvîntului, rămînînd de fapt nedemonstrabile din punct de vedere formal. Pentru precizare, amintim că sistemul inițial poate fi totdeauna lărgit astfel încît orice fapt dinainte dat, nedemonstrabil în vechiul sistem, să poată fi formal demonstrabil în sistemul nou — dar acest nou sistem nu va putea permite demonstrarea altor fapte care rămîn și pentru el nedemonstrate ș.a.m.d.

Teoremele de tip Gödel arată că în limitele nici unui sistem lingvistic formal fixat nu poate fi formalizat complet nu numai ansamblul gîndirii, dar nici măcar acea parte a ei care, în mod obișnuit, se numește gîndire logică. Aceasta, deoarece în toate procesele reale există o legătură permanentă a gîndirii cu experiența, omul intervenind în mod activ în diferitele procese reale, care se află dincolo de limitele sistemelor lingvistice formale.

4. Cibernetica se ocupă însă în mod intens și de sistemele de conducere. Din punct de vedere cibernetic, sistemele de conducere sînt considerate tot sub aspect informațional, făcîndu-se abstracție de natura lor reală. În cibernetică, interesează numai transmiterea, conservarea și prelucrarea informației în sistemele automate.

Studiul unui sistem cibernetic concret determinat se reduce în fond la stabilirea modului în care sînt prelucrate semnalele aplicate la intrare. Cu alte cuvinte, se cere să se stabilească regulile după care se realizează transformarea semnalelor de intrare în cele de ieșire. Aceste transformări în parte se fac după reguli pe deplin cunoscute, fiind vorba de procese perfect determinate în sens clasic; în alte cazuri este vorba de procese aleatorii care sînt cunoscute numai din punct de vedere statistic.

Ca model cibernetic abstract poate fi considerat chiar și omul.

În cazul omului, sistemul cibernetic se caracterizează prin aceea că are o evoluție, modul de prelucrare a informațiilor schimbîndu-se foarte mult în timpul vieții sale.

Este oare posibil să se modeleze gîndirea umană prin dispozitive automate create în mod corespunzător? Altfel formulată problema revine la determinarea posibilităților de a cunoaște

Scanned with OKEN Scanner

legile gîndirii, adică regulile de transformare a informaţiei de către om.

În cazul în care aceste reguli au fost cunoscute şi enunţate precis în totalitatea lor, ele pot fi modelate de un dispozitiv cibernetic, realizat în mod corespunzător.

Nu trebuie să uităm că aici nu este vorba decît despre o modelare informaţională, care nu se referă la modelarea proceselor intime ce au loc în sistemul nervos al omului în cadrul procesului de gîndire, ci la studierea aspectelor formale, legate de transformarea informaţiei.

Desigur că această problemă nu poate fi rezolvată practic decît dacă în prealabil se dă un răspuns afirmativ la o altă întrebare deosebit de importantă : legile după care funcţionează creierul în procesul de gîndire pot fi ele total cunoscute?

În cazul în care numărul regulilor de prelucrare a informaţiei în creier este finit, atunci în mod inevitabil, legile gîndirii vor putea fi cunoscute şi descrise în totalitatea lor — mai tîrziu sau mai devreme. Va fi atunci posibil să se realizeze un model care să funcţioneze exact după aceleaşi reguli ca şi creierul uman, prelucrînd informaţia la fel ca şi un om.

În cazul în care sistemul de reguli care determină legile prelucrării informaţiei în creier este infinit, construirea unui model informaţional nu mai poate fi realizată într-un interval de timp finit.

5. Dar, chiar înainte de a se da un răspuns la această problemă a numărului finit sau infinit de reguli care prelucrează informaţia în sistemul nervos, raportul dintre maşina cibernetică şi creierul uman poate fi stabilit recurgînd la unele date cunoscute.

Astfel, se ştie că, în interiorul creierului uman, în scoarţă se află circa 14 miliarde de neuroni. Se ştie, de asemenea, că fiecare neuron în parte este la fel de complex ca şi un întreg calculator electronic.

Considerînd fiecare neuron ca un sistem foarte simplu, avînd numai o intrare şi o ieşire, şi considerînd toate conexiunile ca fiind posibile, se ajunge la un număr de

$$10^{10^{20}}$$

interconexiuni posibile : adică 10 la puterea un miliard de miliarde de miliarde de conexiuni. Chiar dacă se elimină — prin diferite reguli de selecţie — unele conexiuni, creierul se prezintă ca un edificiu deosebit de complex.

Scanned with OKEN Scanner

Rezultă de aici că imaginea cibernetică a sistemului de prelucrare a informației, creierul, este constituită din 14 miliarde de calculatoare electronice, conectate între ele printr-un număr uriaș de legături.

Dar nu trebuie uitat nici faptul că omul nu trăiește izolat, ca Robinson Crusoe pe insula sa. Omul trăiește în colectivitatea umană, astfel încît, de fapt, acel ansamblu de 14 miliarde de calculatoare electronice este în legătură cu nenumărate alte calculatoare, situate în familia celor 3 miliarde de grupări uriașe de calculatoare, care constituie echivalentul cibernetic al societății umane actuale; fiecare din aceste grupări uriașe de calculatoare beneficiază nu numai de anumite informații pe care le primește de la calculatoarele existente, ci primește informație și de la ansamblul de calculatoare de mult dispărute — echivalentul informațional al generațiilor trecute.

6. Experiența constată inepuizabilitatea proprietăților materiei, și aceasta în oricare dintre părțile sale. De aici decurge și inepuizabilitatea proprietăților creierului, respectiva proprietăților sale informaționale.

În cazul în care ne mărginim numai la anumite aspecte considerate esențiale ale gîndirii umane, devine cu putință modelarea acestor activități în dispozitive cibernetice formulate în mod corespunzător.

Aceste modele pot fi mașini speciale, sau calculatoare digitale, deoarece chiar și aceste calculatoare digitale actuale pot modela orice gen de prelucrare a informației, atunci cînd informația este redată cu ajutorul unui alfabet finit, prelucrarea efectuîndu-se după un număr finit de reguli.

Problema automatizării activității intelectuale a omului s-a pus mai de mult în știință.

De fapt, istoria arată că, în timp ce necesitatea de a crea mașini pentru amplificarea forțelor fizice ale omului a apărut mai de mult, mașini care să amplifice puterea de gîndire a omului, în forme rudimentare, au apărut relativ mai tîrziu, în comuna primitivă. Aceasta deoarece sistemele de notare a evenimentelor, a numerelor, reprezintă sisteme de conservare a informației, deci de amplificare a unei facultăți umane.

Se știe că mașinile aritmetice au apărut cu trei secole în urmă, în special datorită eforturilor lui Blaise Pascal. Astăzi, calculatoarele electronice realizează performanțe cu mult superioare celor ale mașinilor matematice mecanice sau electromecanice. Progrese însemnate s-au realizat în special în ceeace privește automatizarea însăși a activității de programare.

Scanned with OKEN Scanner

Aceasta reprezintă una dintre cele mai importante direcții de dezvoltare a ciberneticii actuale.

Dar, în momentul de față, cibernetica intervine cu succes în automatizarea a numeroase activități care, cu două decenii în urmă, se rezolvau mai mult sau mai puțin la întîmplare, pe baza unei experiențe în acel moment „netransmisibile". În această situație se află, de exemplu, problema sintezei anumitor scheme de contacte și relee, sau alte probleme asemănătoare. Astăzi aceste genuri de activitate pot fi formalizate. Desigur că, într-un viitor nu prea depărtat, alte domenii de activitate vor putea fi automatizate.

De exemplu, în această categorie intră problema de dirijare optimă a transporturilor sau de dirijare optimă a proceselor tehnologice în industrie.

În momentul de față s-a reușit crearea de instrumente matematice capabile să ducă la rezolvarea acestor probleme.

Asistăm astfel la un interesant proces în care, plecînd de la anumite date empirice, se creează o teorie aplicabilă la rezolvarea unor clase tot mai largi de probleme.

Astăzi impunîndu-se tot mai mult automatizarea muncii de prelucrare a activităților legate de conducerea economiei, apare necesitatea introducerii automatizării nu numai în sfera producției materiale, ci și în sfera conducerii și administrației.

Legată de problema automatizării activităților intelectuale, se ridică și problema importantă a automatizării proceselor de creație. Astăzi există calculatoare digitale programate pentru ca, plecînd de la anumite tabele de date numerice, obținute de exemplu prin experiențe, să se stabilească eventualele legi care se află în spatele evenimentelor studiate.

Se menționează faptul că la Centrul de Calcul al Universității din București s-a realizat un algoritm, cu ajutorul căruia au fost armonizate anumite melodii.

În anul 1958, la Academia de Științe a R. S. S. Ucrainiene, a fost verificată corectitudinea demonstrațiilor unor teoreme stabilite într-un domeniu nou al matematicii. De asemenea, matematicianul *Hao Wang* a reușit să construiască un program, cu ajutorul căruia a demonstrat în mod automat teoreme ale logicii matematice, inclusiv teoreme noi, necunoscute înainte.

Toate acestea arată că mașina cibernetică, deși este deosebit de „tînără", are posibilități foarte mari în ceea ce privește activitatea de tip intelectual.

7. Desigur că nu are nici un rost să se creeze o mașină care să efectueze în mod automat *toate* activitățile umane sau măcar toate activitățile intelectuale. Dar apare deosebit de important

Scanned with OKEN Scanner

faptul că actualele maşini cibernetice pot efectua anumite operaţii formalizate cu un ritm incomparabil mai rapid decît acela care a fost atins de om.

Actualele maşini cibernetice pot fi programate astfel încît să efectueze munci care, în principiu, nu sînt cunoscute ca rezultat şi ca mod de desfăşurare a calculului de către programator.

Toate acestea nu trebuie însă să ne facă să credem că maşina este superioară omului; nu trebuie să ne formăm convingerea că posibilităţile geniului omenesc sînt limitate şi că pot fi depăşite, în ansamblu.

Măreţia raţiunii umane constă tocmai în faptul că ea găseşte mereu noi procedee pentru a depăşi cadrul care i-a fost impus de natură. În mileniile trecute ea se ajuta de maşini care îi amplificau forţa musculară. Astăzi maşinile cibernetice îi amplifică puterea de gîndire.

Este neîndoios că tot ceea ce este important în procesele de gîndire şi de cunoaştere va rămîne totdeauna apanajul omului.

Dacă maşinile cibernetice întrec pe om pe plan pur informaţional, în schimb, pe plan social-istoric, aceste maşini vor rămîne totdeauna doar ajutoare şi unelte ale omului.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. *Барсов А. С.*, Что такое линейное програмирование. физматгиз Москва, 1959.
2. *Boiangiu D.*, *Nicolau E.*, *Niţă C.*, Instrumente, dispozitive şi maşini matematice, Editura Tehnică, Bucureşti, 1963.
3. *Constantinescu C.*, Teoria mulţimilor, Editura Academiei R.P.R., Bucureşti, 1962.
4. *Constantinescu I.*, *Condrea S.*, *Nicolau Edm.*, Teoria informaţiei, Editura Tehnică, Bucureşti, 1958.
5. *Domonkoş E.*, Algoritmul de traducere englezo-romînă pentru calculatorul M.E.C.I.P.T., Probleme de automatizare, III, Editura Academiei R.P.R., p. 105—108.
6. *Halmos P.*, Naive Set Theory, van Nostrand, Princeton, 1961.
7. *Хилтон А. М.*, Логика и цепи переключения (перевод с английского), Госэнергоиздат, Москва, Ленинград 1962.
8. *Hincin I. A.*, *Gnedenko B. V.*, Introducere elementară în calculul probabilităţilor, (traducere din l. rusă), Editura Tehnică, Bucureşti, 1953.
9. *Iaglom A. M.*, *Iaglom I. M.*, Probabilitate şi informaţie (traducere din l. rusă), Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1963.
10. *Moisil C. Gr.*, Teoria algebrică a mecanismelor automate, Editura Tehnică, Bucureşti, 1959.
11. *Moisil C. Gr.*, Logica matematică şi tehnica modernă, Probleme filozofice ale ştiinţelor naturii, Academia R.P.R., Bucureşti, 1960.
12. *Nicolau Edm.*, Analogie, model, similitudine. Materialismul dialectic şi ştiinţele contemporane ale naturii, vol. IV, Editura Politică, Bucureşti, 1964.
13. *Nicolau Edm.*, Langage et Stratégie, Cahiers de linguistique théorique et appliquée, I, p. 153—177.
14. *Nicolau Edm.*, *Bălăceanu C.*, Cibernetica, Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1961.
15. *Nicolau Edm.*, *Bălăceanu C.*, Contribuţii la cibernetica neuronului, Automatica şi Electronica nr. 6, 1962, p. 251—257.
16. *Nicolau Edm.*, *Weber I.*, *Gavăt St.*, Aparat pentru recunoaşterea automată a vocalelor, Automatica şi Electronica, 6, 1963.
17. *Poyen J.*, *Poyen J.*, Le langage électronique, Presses Universitaires de France, Paris, 1960.
18. *Săhleanu V.*, Elemente de matematici generale, U.S.S.M., Bucureşti, 1963.
19. *Schächter S.*, *Munteanu F.*, Aplicaţiile maşinilor electronice de calcul, Editura Tehnică, Bucureşti, 1960.

Scanned with OKEN Scanner